

REGIONE
TOSCANA



**Prodotto realizzato con il contributo della Regione
Toscana nell'ambito dell'azione regionale di sistema**

Laboratori del Sapere Scientifico

I RIMBALZI DI UNA PALLINA



Riferimenti bibliografici

- M. Micheli, L.Santi, R. M. Sperandio; “Proposte didattiche su forze e movimento; Forum Editrice Universitaria Udinese, 2002.
- http://www.fisica.uniud.it/~micheli/pallina/struttura_pallina.html

COLLOCAZIONE DEL PERCORSO

3

- ❑ Il percorso si inserisce nell'area disciplinare della Fisica e della Matematica.
- ❑ Il percorso è stato proposto alla classe 3 A del liceo scientifico nell'anno scolastico 2015/2016 utilizzando 7 ore di lezione, esclusa le verifiche, distribuite su due settimane del mese di marzo.



OBIETTIVI ESSENZIALI DELL'APPRENDIMENTO

4

- ❑ Saper individuare nell'osservazione dell'esperienza i parametri fenomenologici descrittivi dell'esperienza.
- ❑ Saper effettuare un'analisi cinematica.
- ❑ Saper rappresentare graficamente il fenomeno con diagrammi spazio-tempo, velocità-tempo e accelerazione-tempo.
- ❑ Saper effettuare un'analisi energetica nelle varie fasi.
- ❑ Saper riconoscere nell'urto col pavimento un urto anelastico.
- ❑ Individuare $\varepsilon = h_i / h_{i-1}$ (coefficiente di restituzione) come parametro caratteristico dell'urto.
- ❑ Individuare la relazione tra velocità prima dell'urto, dopo l'urto e il coefficiente di restituzione.

ELEMENTI SALIENTI DELL'APPROCCIO METODOLOGICO

5

- Con questa esperienza si cerca di attuare una metodologia di tipo laboratoriale attraverso un percorso guidato.

L'attività è stata strutturata in varie fasi. Ad ogni sessione di lavoro gli studenti sono guidati da una scheda di lavoro dove sono indicate le strategie di osservazione del fenomeno (al fine di individuarne le regolarità), le possibili strategie di misurazioni, le proposte di analisi dei dati e infine sono condotti verso la ricerca di una legge sperimentale.

ELEMENTI SALIENTI DELL'APPROCCIO METODOLOGICO

6

□ Il lavoro di gruppo

Gli alunni si sono suddivisi in gruppi di tre e sono stati guidati nell'attività da schede di lavoro assegnate dall'insegnante. Il lavoro di gruppo si è formalizzato nella raccolta e nell'analisi dei dati.

□ Lezione partecipata

Tale metodologia è stata usata, nella prima fase, per discutere la strategia per la misurazione delle quote massime di rimbalzo e, nella fase finale per discutere e correggere alcune risposte presenti negli elaborati degli alunni.

MATERIALI, STRUMENTI E APPARECCHI UTILIZZATI.

7

□ MATERIALI

Una palline da ping-pong e una pallina da tennis; schede di lavoro.

□ STRUMENTI

Un metro a nastro.

□ APPARECCHI UTILIZZATI

Smartphone (per fare il video dell'esperienza)

L'AMBIENTE DI LAVORO

8

L'esperienza è stata svolta in aula, che per l'occasione è diventata un'aula di laboratorio.

Ogni gruppo di lavoro ha scelto una porzione di una parete dell'aula e vi ha attaccato il metro a nastro.

Guidati dalle schede di lavoro gli studenti hanno svolto l'esperimento.

ELEMENTI SALIENTI DELL'APPROCCIO METODOLOGICO LE FASI DEL LAVORO

9

L'attività si è svolta in **cinque fasi**.

- **La prima fase** è di osservazione del fenomeno. Viene chiesto agli allievi di far cadere la pallina da ping-pong da tre altezze differenti e individuare analogie e differenze al variare dell'altezza; di ricercare le caratteristiche del rimbalzo che si possono supporre dipendenti dall'altezza iniziale di caduta; di ripetere l'esperienza con entrambe le palline e ricercare gli aspetti simili e quelli che differiscono nei due rimbalzi.

ELEMENTI SALIENTI DELL'APPROCCIO METODOLOGICO LE FASI DEL LAVORO

10

- ❑ **La seconda fase** è suddivisa in due sottofasi: 1) fase quantitativa, gli alunni devono misurare le quote di rimbalzo; 2) analisi dei dati alla ricerca di una relazione tra le quote di rimbalzo.
- ❑ **La terza fase** è un'analisi cinematica dell'esperienza.
- ❑ **La quarta fase** è un'analisi energetica dell'esperienza.
- ❑ **La quinta fase** è di discussione in classe del lavoro prodotto.

TEMPI IMPIEGATI

11

- ❑ **Prima fase**
 - ✓ 10 minuti per introdurre l'esperienza.
 - ✓ 50 minuti per fare l'esperimento e completare la scheda di lavoro "Attività 1".
- ❑ **Seconda fase**
 - ✓ 10 minuti di discussione su come effettuare le misurazioni.
 - ✓ 1 ora e 50 minuti per svolgere l'esperimento e completare la scheda di lavoro "Attività 2".
- ❑ **Terza fase**
 - 1 ora per completare la scheda di lavoro "Attività 3".
- ❑ **Quarta fase**
 - 1 ora per completare la scheda di lavoro "Attività 4".
- ❑ **Quinta fase**
 - 2 ore per la discussione e l'analisi del lavoro prodotto.

I RIMBALZI DI UNA PALLINA

PREMESSA

12

Il fenomeno del rimbalzo di una pallina è un fenomeno molto comune osservabile nel quotidiano. Lo studio di tale fenomeno si presta ad analisi di diversi livelli e rappresenta un'occasione di controllo e consolidamento della capacità di guardare ai fenomeni utilizzando modelli fisici.

Il fenomeno è ripetitivo e per una sua interpretazione fisica deve essere suddiviso in tre parti: la caduta, l'interazione con il pavimento e la risalita.

Nello studio del fenomeno intervengono quindi conoscenze e competenze che gli alunni hanno già acquisito, in parte nel biennio del liceo scientifico (lo studio del moto uniformemente accelerato) e in parte durante l'anno scolastico in corso (energia meccanica, urti e principi di conservazione).

Le forze di attrito viscoso dovute alla resistenza dell'aria, sono, con buona approssimazione, trascurabili.

PRIMA FASE

INDIVIDUAZIONE GLI OBIETTIVI DELL'ESPERIENZA

13

L'attività inizia con l'insegnante che introduce l'esperimento che da lì a poco gli alunni si accingeranno a compiere. Al fine di verificare se l'esperienza suscita interesse il docente chiede loro come mai questo esperimento possa essere ritenuto utile al fine del loro apprendimento.

Risposta di un gruppo di alunni: *“Perché possiamo vedere che a causa dell'urto l'energia si disperde”.*

Il concetto di energia e la teoria degli urti sono gli ultimi argomenti studiati, pertanto gli alunni individuano subito una caratteristica saliente dell'esperimento.

Docente: *“Perché siete così sicuri che l'energia si disperde? E cosa intendete con si disperde?”.*

Risposta del gruppo di alunni: *“La pallina non risalirà alla stessa quota e questo vuol dire che l'energia non si conserva”.*

PRIMA FASE

INDIVIDUAZIONE GLI OBIETTIVI DELL'ESPERIENZA

14

I ragazzi non chiariscono se si riferiscono alla legge di conservazione dell'energia meccanica; per questo motivo decido di indagare questo aspetto e chiedo di provare ad enunciare i principi di conservazione studiati. La maggior parte dei ragazzi enuncia il principio di conservazione dell'energia meccanica e una parte enuncia anche il principio di conservazione dell'energia per un sistema isolato. A questo punto richiedo di specificare cosa si intenda per “energia che si disperde o non si conserva” e buona parte della classe asserisce che a non conservarsi nell'impatto col pavimento è l'energia meccanica. Dopo aver affrontato questo nodo, passo a chiedere ai ragazzi: *“La quota da cui si lascia cadere la pallina e quella di rimbalzo sono collegate in qualche modo al concetto di energia?”*. La risposta degli alunni è *“Dovrebbe essere così”*. A questo punto affermo che lo scopo dell'esperienza è provare ad individuare se esiste una relazione tra la quota da cui si lascia cadere la pallina e la quota di rimbalzo.

PRIMA FASE

ESPLORAZIONE FENOMENOLOGICA

15

Per iniziare l'osservazione del fenomeno viene fatta ai ragazzi la seguente richiesta:

Lasciamo cadere sul pavimento una pallina (ad esempio quella da ping-pong) inizialmente ferma ad altezze (significativamente) diverse tra di loro, ad esempio 0.5m, 1.0m, 1.5m. Quali aspetti sono comuni (analogie) e quali aspetti cambiano (differenze) al variare dell'altezza?

Gli alunni possono dare più di una risposta.

PRIMA FASE: ESPLORAZIONE FENOMENOLOGICA

16

Tra le risposte date dagli alunni quelle che si sono presentate con maggiore frequenza per le analogie sono state:

- ▣ Da qualsiasi altezza viene lanciata la pallina risale ad un'altezza inferiore di quella di partenza.
- ▣ Le palline cadono con la stessa velocità.
- ▣ Le palline seguono una traiettoria rettilinea.

Tra le risposte date dagli alunni, quelle che si sono presentate con maggiore frequenza per le differenze sono state:

- ▣ Il numero di rimbalzi varia al variare delle altezze.
- ▣ I rimbalzi sono più significativi se l'altezza di caduta è più alta.
- ▣ L'altezza finale dopo il rimbalzo è minore di quella da cui è stata lasciata cadere la pallina.

ALCUNI ESEMPI DI RISPOSTE DEGLI ALUNNI

17

ANAOLOGIE	DIFFERENZE
le palline cadono con la stessa velocità e l'energia meccanica è non è conservata.	Le altezze sia di partenza che dopo il rimbalzo raggiunte dalla pallina sono sempre diverse tra loro e più è l'altezza di partenza è alta sarà tale anche quella dopo l'urto.

ANAOLOGIE	DIFFERENZE
<ul style="list-style-type: none"> • la massa è la stessa • in entrambi i casi si parla di urti elastici. • l'accelerazione, gravitazionale, è la stessa • l'energia meccanica non si conserva • la traiettoria è rettilinea 	<ul style="list-style-type: none"> • l'intervallo di tempo nel quale avviene il moto è differente, di conseguenza anche la velocità della massa lo è. • l'energia meccanica cambia di modulo.

ANAOLOGIE	DIFFERENZE
L'altezza da cui lasciamo cadere la pallina è proporzionale (sempre) al suo rimbalzo	I rimbalzi sono più significativi se l'altezza di caduta è più alta. Caso che invece non contrasta se l'altezza è minore.

RIFLESSIONE E DISCUSSIONE CON GLI ALLIEVI

18

Durante la fase finale è stato necessario discutere le risposte date dagli alunni, viste alcune risposte non adeguate. Tra le analogie ci sono state le seguenti risposte:

- A. Le palline cadono con la stessa velocità.
- B. Sono urti elastici (solo due alunni hanno dato questa risposta).

Il docente mostra un grafico alla classe con degli istogrammi dove sono presenti le loro risposte e chiede di analizzare una per una le risposte date provando a capire se sono vere oppure false.

La maggior parte della classe riconosce nella A. e nella B. due inesattezze. Alcuni allievi correggono subito l'affermazione A. sostenendo che le palline non cadono con la stessa velocità ma con la stessa accelerazione di $9,81 \text{ m/s}^2$, perché si tratta di un moto uniformemente accelerato; allo stesso modo correggono l'affermazione B. affermando che se gli urti fossero stati elastici le palline sarebbero risalite all'altezza di partenza.

PRIMA FASE: ESPLORAZIONE FENOMENOLOGICA

19

Per individuare le grandezze fisiche che meglio possono rappresentare il fenomeno viene chiesto agli allievi:

In base alle osservazioni, quali caratteristiche del rimbalzo si possono supporre dipendenti dall'altezza iniziale di caduta?

Quasi la totalità della classe riconosce nella quota di rimbalzo e nella velocità prima e dopo l'urto due caratteristiche che dipendono dalla quota iniziale.

Anche in questo caso alcune risposte necessitano di un approfondimento.

A2 In base alle osservazioni, quali caratteristiche del rimbalzo si possono supporre dipendenti dall'altezza iniziale di caduta?

Vi è un rapporto proporzionale tra altezza iniziale di caduta e il rimbalzo

RIFLESSIONE E DISCUSSIONE CON GLI ALLIEVI

20

Il docente, nella fase finale di discussione, riferisce agli alunni che alcuni di loro parlano già di proporzionalità e in alcuni casi, ci sono chiari riferimenti alla diretta proporzionalità. Si chiede pertanto in che modo hanno riconosciuto tale relazione. La risposta di un gruppo è stata: “abbiamo pensato che fosse così perché la quota di rimbalzo h_1 ci sembrava metà di h_0 ”.

Il docente afferma che con una sola osservazione e senza una serie di misure, forse è presto per individuare una proporzionalità qualsiasi. A questo punto decido di indagare sull'idea di proporzionalità e chiedo: “Cos'è una proporzionalità diretta?” La risposta di alcuni alunni è stata: “Se aumenta una variabile aumenta anche l'altra”, affermazione subito corretta da un altro compagno “L'aumento deve essere lineare e quindi rappresentabile con una retta”. Rivolgendomi a tutta la classe chiedo se esistono altre tipologie di proporzionalità e, a gruppi sparsi, rispondono: “Quella quadratica, che si rappresenta con la parabola”, qualcun altro: “La proporzionalità inversa, l'iperbole”.

Si sottolinea allora che l'affermazione è prematura e che al momento possiamo parlare di relazione tra le quote.

PRIMA FASE: ESPLORAZIONE FENOMENOLOGICA

21

Si chiede ai ragazzi:

Prendere la pallina da tennis e lasciarla cadere contemporaneamente a quella precedente (di ping-pong) e dalla stessa altezza. Quali aspetti sono simili e quali differiscono nel moto successivo delle due palline?

In questo modo si cerca di far capire agli alunni quali aspetti della caduta dipendono dalla natura della pallina e quali sono indipendenti da essa.

Buona parte degli alunni riconoscono che il tempo di caduta delle palline è lo stesso e che quindi la caduta non dipende dalla natura della pallina. Riconoscono, inoltre, che al variare della pallina cambiano il numero di rimbalzi e le quote massime.

PRIMA FASE

RIFLESSIONE E DISCUSSIONE CON GLI ALLIEVI

22

Alcuni alunni però tentano di spiegare perché palline differenti compiono rimbalzi diversi e individuano la causa nella massa e nella densità delle due palline.

A3 Prendiamo ora un'altra pallina delle (ad esempio, una pallina da tennis) e lasciamola cadere contemporaneamente a quella precedente e dalla stessa altezza. Quali aspetti sono simili e quali differiscono nel moto successivo delle due palline?

ANAOLOGIE	DIFFERENZE
Toccano terra quasi nello stesso istante	Per la loro diversa densità e massa, compiono rimbalzi a diverse altezze e istanti

L'insegnante, nel momento dedicato alla discussione, chiede alla classe di provare a sostenere o a confutare l'affermazione: "Le altezze di rimbalzo variano perché varia la massa", ma questa volta gli alunni non riescono a correggere l'affermazione velocemente come in precedenza.

Il docente, viste le indecisioni degli studenti, pone il problema in forma più familiare e chiede di risolvere il seguente esercizio: "Una pallina di massa m , dopo aver urtato il pavimento, risale verso l'alto con velocità v , a quale quota arriverà?"

La maggior parte degli studenti risolve il problema utilizzando la conservazione dell'energia meccanica e dai calcoli ritrova $h = \frac{1}{2} g v^2$ riconoscendo che la massa non influisce sulla risalita.

SECONDA FASE: ESPLORAZIONE QUANTITATIVA DEL FENOMENO

23

Prima di iniziare la seconda parte dell'attività, il docente cerca di raccogliere "a caldo" gli umori degli alunni sulla prima fase. Gli allievi sottolineano subito le difficoltà nel prendere le misure "al volo" durante il rimbalzo e propongono in maniera immediata l'idea di fare un video con il loro smartphone. Si valuta l'idea buona, ma si decide di usare questa procedura in un secondo momento e di attuare una strategia che non metta lo smartphone al centro dell'esperimento.

Nell'attività successiva vengono proposte due strategie di misura.

SECONDA FASE: ESPLORAZIONE QUANTITATIVA DEL FENOMENO

24

Nella scheda sono proposte due strategie: quella di traguardare al volo e quella dei rimbalzi successivi.

Strategia 1. Traguardare al volo: si lascia cadere la pallina da una quota prestabilita e si segnano le quote massime a cui arriva la pallina ad ogni rimbalzo.

Gli stessi alunni hanno evidenziato in precedenza come la misura effettuata in questo modo può essere difficoltosa .

Strategia 2. Si misurano le quote massime raggiunte dalla pallina nel suo primo rimbalzo, quando viene successivamente rilasciata proprio dalla quota del precedente primo rimbalzo. Ad esempio, se partendo da h_0 si ottiene al primo rimbalzo h_1 , la seconda misura si effettuerà partendo da h_1 , con risultato al primo rimbalzo h_2 . La terza misura si effettuerà quindi a partire da h_2 , con risultato h_3 , e così via.

Il docente invita gli allievi ad una riflessione e chiede loro se questa strategia è altrettanto valida.

SECONDA FASE

ALCUNI ESEMPI DI RISPOSTE DEGLI ALUNNI

25

Quale è l'ipotesi che rende lecito effettuare le misure così come descritto nella strategia 2?

L'ipotesi della strategia 2 è giusta perché la situazione del sistema è la stessa sia nei continui rimbalzi in h sia da una caduta da h . In entrambi i casi è energia e cioè energia potenziale gravitazionale ($m \cdot g \cdot h$)

Quale è l'ipotesi che rende lecito effettuare le misure così come descritto nella strategia 2?

SI TENDE AD UTILIZZARE LA STRATEGIA DUE PERCHÉ OGNI RIMBALZO SI PUÒ CONSIDERARE INDIPENDENTE DA QUELLO PRECEDENTE SE CAMBIAMO LE ALTEZZE INIZIALI

Quale è l'ipotesi che rende lecito effettuare le misure così come descritto nella strategia 2?

QUESTO È POSSIBILE PER VIA DELLA LEGGE DELLA CADUTA LIBERA, CHE FA SÌ CHE LA VELOCITÀ SIA NULLA ALL'APICE DI OGNI RIMBALZO.

SECONDA FASE

ESPLORAZIONE QUANTITATIVA DEL FENOMENO

26

Dalle risposte date si evince che gli alunni hanno compreso la validità della strategia proposta e pertanto decidiamo di effettuare due serie di misure: la prima con la strategia 2 e la seconda al volo utilizzando lo smartphone.

Gli alunni hanno effettuato tre serie di misure per ogni pallina con la strategia dei rimbalzi successivi (una per ogni quota iniziale).

Hanno poi ripetuto la misura al volo utilizzando lo smartphone.

SECONDA FASE: ESPLORAZIONE QUANTITATIVA DEL FENOMENO

27

Iniziano le misure!



SECONDA FASE

ESPLORAZIONE QUANTITATIVA DEL FENOMENO

28

Durante la fase di misura con l'uso dello smartphone alcuni gruppi si sono scontrati con un aspetto indesiderato e non preventivato: la risoluzione dei pixel del proprio smartphone!

Alcuni smartphone avevano una bassa risoluzione e dal video non si distinguevano le tacche del metro a nastro!

Dopo qualche secondo di “panico”, seguito da una riflessione, gli allievi hanno integrato la strategia usata precedentemente con la tecnologia dello smartphone. Si sono avvicinati con lo smartphone maggiormente al metro a nastro attaccato al muro affinché fossero ben visibili le tacche del metro. In questo modo si riprende solo la quota di rimbalzo h_1 , si legge dal video la misura di h_1 , si lascia partire la pallina da h_1 e si riprende il rimbalzo h_2 e così via.

Gli alunni si sono resi conto l'importanza di una strategia di misura poiché anche lo smartphone ha i suoi limiti di sensibilità.

IL LAVORO DI GRUPPO: L'ANALISI DEI DATI

29



SECONDA FASE

ALCUNI ESEMPI DI ANALISI DELLE MISURE

30

Una volta prese le varie serie di misure si chiede di provare a caratterizzare quantitativamente la diminuzione delle quote di rimbalzo cercando un collegamento tra una quota e la successiva e tra la quota iniziale e la quota all'i-simo rimbalzo attraverso due rapporti:

$$R_i = h_i/h_{i-1} \quad \text{e} \quad r_i = h_i/h_0$$

Tabella 2	TENNIS			PING-PONG		
Tipo di pallina						
$R_i = h_i/h_{i-1}$	Serie 1 $h_0 = 2\text{ m}$	Serie 2 $h_0 = 1,5\text{ m}$	Serie 3 $h_0 = 1\text{ m}$	Serie 1 $h_0 = 2\text{ m}$	Serie 2 $h_0 = 1,5\text{ m}$	Serie 3 $h_0 = 1\text{ m}$
R_1						
R_2	0,60	0,66	0,61	0,68	0,71	0,73
R_3	0,64	0,63	0,61	0,69	0,71	0,72
R_4	0,58	0,60	0,64	0,69	0,64	0,66
R_5	0,52	0,56	0,57	0,74	0,76	0,77
$r_i = h_i/h_0$						
r_1	0,55 m	0,62	0,59	0,54	0,59	0,63
r_2	0,34	0,41	0,37	0,37	0,42	0,46
r_3	0,22 m	0,26	0,23	0,26	0,30	0,33
r_4	0,13 m	0,16	0,14	0,18	0,19	0,22
r_5	0,07	0,07	0,9	0,13	0,15	0,17

SECONDA FASE

L'ANALISI DEI DATI

31

Dopo aver calcolato i rapporti richiesti si invitano gli studenti a rispondere ad una serie di quesiti per indurli a individuare le regolarità di questi rapporti.

- **“Studiamo i risultati contenuti nella tabella 2. Cosa si può dire dei rapporti R_i e r_i , per una stessa pallina e per palline diverse? (Sono costanti? Dipendono da h_0 ?)**

La maggior parte degli alunni individuano R_i costante nei limiti degli errori di misura e r_i decrescente. Solo una piccola parte si esprime sulla dipendenza di R_i e r_i da h_0 e afferma che R_i non dipende dalla quota iniziale mentre r_i sì.

1. Studiamo i risultati contenuti nella tabella 2. Per una stessa pallina, cosa si può dire dei rapporti R_i e r_i per una stessa pallina e per palline diverse? (Sono costanti? Dipendono da h_0 ?)

R_i rimane pressoché costante mentre r_i scende ad ogni rapporto, di R_i dipende solo il primo da h_0 mentre r_i è totalmente dipendente da h_0 . Anche per palline diverse il risultato del rapporto rimane costante

SECONDA FASE

L'ANALISI DEI DATI

32

Per indagare ulteriormente sulla natura dei rapporti R_i e r_i si chiede:

Consideriamo tutte le grandezze incontrate fino ad ora, comprese le quote massime di rimbalzo h_i . Quali dipendono dalla natura della pallina e quali dalle condizioni iniziali della caduta?

1. La maggior parte degli alunni riconosce che R_i dipende solo dalla natura della pallina e non dalla quota iniziale.
2. La maggior parte della classe riconosce che le quote h_i dipendono dalla natura della pallina e dalla quota iniziale.
3. Una parte significativa afferma che r_i dipende dalla natura della pallina e dalla quota iniziale.

2. Consideriamo tutte le grandezze incontrate fino ad ora, comprese le quote massime di rimbalzo h_i (tabella 1). Quali dipendono dalla natura della pallina e quali dalle condizioni iniziali della caduta?

Le quote massime di rimbalzo dipendono sia dalla natura della pallina che dalla h iniziale. Le 2 palline diverse a parità di quota rimbalzano a quote massime diverse per la diversa natura

SECONDA FASE

RIFLESSIONE E DISCUSSIONE CON GLI ALUNNI

33

- Gli alunni riconoscono che l'indice R_i dipende solo dalla natura della pallina, questo perché precedentemente si sono accorti che nei limiti degli errori di misura poteva essere ritenuto costante.
- Al contrario r_i è decrescente e questo induce gli alunni a pensare che questo indice dipende dalla quota di partenza. In questo caso gli allievi hanno letto la tabella degli r_i solo in modo verticale e non orizzontale e non hanno dedotto l'informazione corretta. Mostro agli studenti una delle loro tabelle di dati, invitandoli ad una lettura orizzontale. In questo modo i ragazzi si accorgono che nei limiti degli errori di misura anche r_i non dipende dalle condizioni iniziali.

Pallina da tennis

$r_i = h_i/h_0$			
r_1	0,55 m	0,62	0,59
r_2	0,34	0,41	0,37
r_3	0,22 m	0,26	0,23
r_4	0,13 m	0,16	0,14
r_5	0,07	0,07	0,9

Pallina da ping-pong

0,54	0,59	0,63
0,37	0,42	0,46
0,26	0,30	0,33
0,18	0,19	0,22
0,13	0,15	0,17

SECONDA FASE

L'ANALISI DEI DATI

34

Una volta capito che la quantità $R_i (=h_i/h_{i-1})$, per una stessa pallina, è approssimativamente costante, questa viene chiamata *coefficiente di restituzione (dell'energia)*. In prima approssimazione è indipendente dall'altezza iniziale di caduta: dipende solo dalla pallina stessa e dal tipo di pavimento su cui viene fatta rimbalzare. Si chiede allora di determinare, facendo una media dei valori ottenuti, i valori del coefficiente di restituzione che da questo momento in poi chiameremo ε per le due palline.

Nei limiti degli errori di misura, gli alunni trovano che ε della pallina da tennis è 0,70 circa mentre ε di quella da ping pong è 0,60 circa.

Si chiede allora come si può scrivere la relazione che lega ciascuna quota di rimbalzo h_i con la precedente h_{i-1} , in termini di ε ?

Tutti gli alunni individuano la diretta proporzionalità $h_i = \varepsilon h_{i-1}$

4. Come possiamo scrivere la relazione che lega ciascuna quota di rimbalzo h_i con la precedente h_{i-1} , in termini di ε ?

La relazione che troviamo tra $\frac{h_i}{h_{i-1}} = \varepsilon$ è una proporzionalità diretta

SECONDA FASE

L'ANALISI DEI DATI

35

Una volta individuata la relazione esistente tra una quota e la successiva, è necessario trovare la relazione tra una quota all'i-simo rimbalzo e la condizione iniziale. Viene chiesto agli alunni di scrivere una relazione generale che descriva l'altezza massima h_i raggiunta all'i-esimo rimbalzo, a partire dalla quota h_0 .

Quasi tutti gli alunni ritrovano la relazione richiesta. Dalla relazione che lega ciascuna quota di rimbalzo con la precedente $h_i = \varepsilon h_{i-1}$, si ottiene $h_1 = \varepsilon h_0$, $h_2 = \varepsilon h_1 = \varepsilon^2 h_0$, $h_3 = \varepsilon h_2 = \varepsilon^3 h_0, \dots$ e ricorsivamente si ottiene $h_i = \varepsilon^i h_0$

5. Scrivere una relazione generale che descriva l'altezza massima h_i raggiunta all'i-esimo rimbalzo, a partire dalla quota h_0

la relazione generale è ~~h_n = \varepsilon^n h_0~~ e si tratta di
una successione geometrica

$$h_1 = \varepsilon h_0 \quad h_2 = \varepsilon(\varepsilon h_0) \rightarrow h_2 = \varepsilon^2 h_0$$

$$h_2 = \varepsilon h_1 \quad h_3 = \varepsilon(\varepsilon^2 h_0) \rightarrow h_3 = \varepsilon^3 h_0$$

$$h_3 = \varepsilon h_2$$

TERZA FASE

ANALISI CINEMATICA

36

Nella terza fase, prima di guidare gli alunni verso una relazione tra le velocità prima e dopo l'urto, si indaga ancora su alcuni aspetti cinematici del fenomeno. Pertanto viene chiesto agli alunni di rispondere ai seguenti quesiti:

1. **Qual è la traiettoria della pallina ?**
2. **Quale si può prevedere essere il moto che caratterizza la pallina nella sua discesa verso il pavimento ?**
3. **Quale si può prevedere essere il moto della pallina dopo essere rimbalzata dal pavimento, fino al momento in cui raggiunge la nuova quota massima ?**
4. **Qual è la velocità della pallina alla quota più alta ?**

TERZA FASE

ANALISI CINEMATICA

37

1. Qual è la traiettoria della pallina?

La traiettoria della pallina è una retta

2. Quale si può prevedere essere il moto che caratterizza la pallina nella sua discesa verso il pavimento?

Il moto della pallina è uniformemente accelerato con ~~accelerazione~~ accelerazione pari a $9,81 \text{ m/s}^2$

3. Quale si può prevedere prevedi essere il moto della pallina dopo essere rimbalzata dal pavimento, fino al momento in cui raggiunge la nuova quota massima?

È sempre uniformemente accelerato (decelerato) con $a = 9,81 \text{ m/s}^2$

4. Qual è la velocità della pallina alla quota più alta?

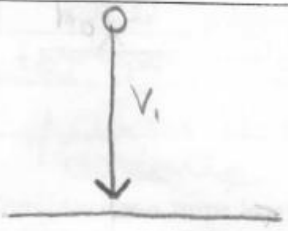
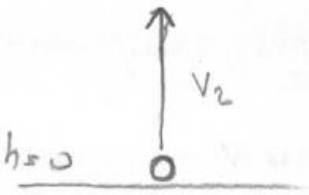
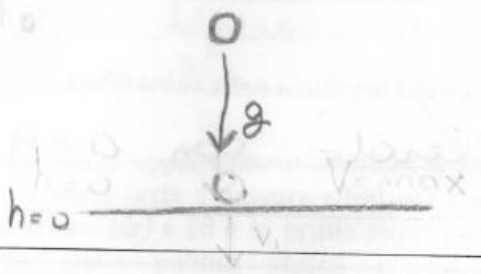
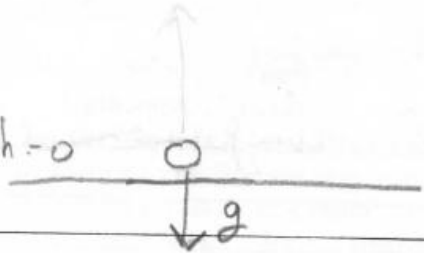
La velocità della pallina è 0 m/s

TERZA FASE

ANALISI CINEMATICA

38

Allo scopo di sottolineare la natura vettoriale delle grandezze fisiche in gioco si chiede: **“Come prevedi essere i vettori velocità ed accelerazione del centro di massa della pallina, nelle varie fasi del moto?”** Gli alunni rispondono tutti correttamente.

Vettore velocità prima di toccare terra. (Prova anche a schematizzare la situazione)	Vettore velocità dopo aver toccato terra. (Prova anche a schematizzare la situazione)
	
Vettore accelerazione prima di toccare terra. (Prova anche a schematizzare la situazione)	Vettore accelerazione dopo aver toccato terra. (Prova anche a schematizzare la situazione)
	

TERZA FASE

ANALISI CINEMATICA

39

Per completare l'aspetto cinematico viene chiesto agli allievi di rappresentare il moto di caduta e di risalita della pallina, mediante i tre principali grafici cinematici:

- Spazio-tempo,
- velocità- tempo
- accelerazione-tempo

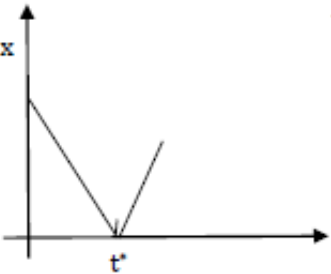
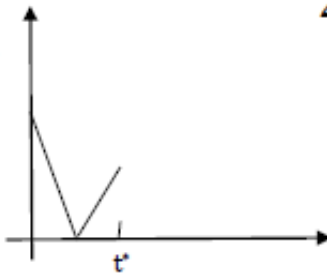
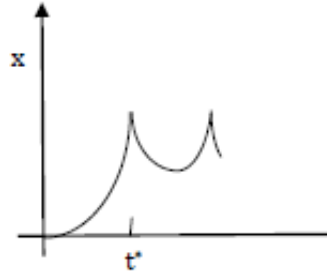
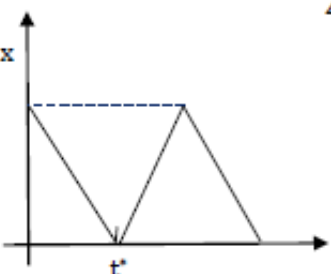
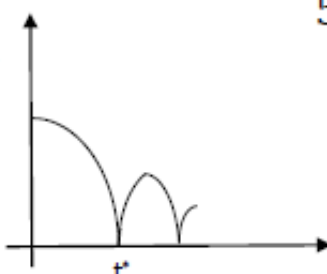
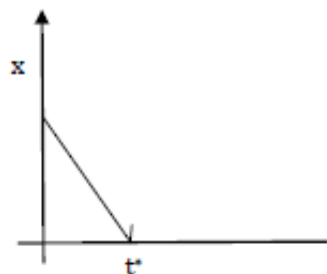
La rappresentazione dei grafici cinematici effettuata dagli alunni evidenzia come gli studenti mostrano difficoltà nel rappresentare i fenomeni cinematici attraverso i grafici, come sottolineato anche dal Prof. Arons nel capitolo due "Cinematica rettilinea" in "Guida all'insegnamento della fisica" edito da Zanichelli.

Riporto una sintesi di tutti i grafici che gli alunni hanno disegnato e con essa inizio una discussione e riflessione con la classe.

TERZA FASE

I GRAFICI SPAZIO – TEMPO DEGLI ALLIEVI

40

<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
3 studenti	1 studente	8 studenti
<p>t^* istante in cui la pallina tocca terra.</p>		
<p>4</p> 	<p>5</p> 	<p>6</p> 
3 studenti	10 studenti	3 studenti
<p>t^* istante in cui la pallina tocca terra.</p>		

TERZA FASE

I GRAFICI SPAZIO – TEMPO DEGLI ALLIEVI

41

Il docente, nella fase di discussione finale, mostra la diapositiva precedente e chiede agli allievi di analizzare uno ad uno i grafici spazio-tempo che hanno realizzato.

la maggior parte degli alunni hanno escluso subito 1, 2, 4 e 6 affermando che il moto di discesa e risalita è uniformemente accelerato e il grafico è una parabola.

L'insegnante chiede allora: "I grafici 3 e 5 mostrano entrambi archi di parabola, quale grafico è accettabile?"

Gli allievi, dopo aver vivacemente discusso, convengono che entrambi i grafici sono accettabili a patto che si fisso lo zero di riferimento. Se si fissa lo zero di riferimento in h_0 allora il grafico 3 è corretto mentre se si fissa lo zero al pavimento è corretto il grafico 5.

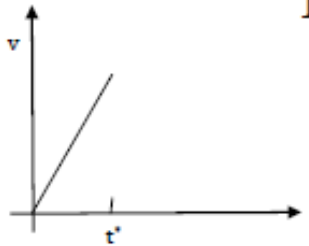
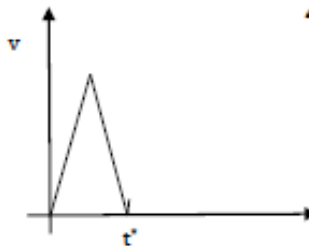
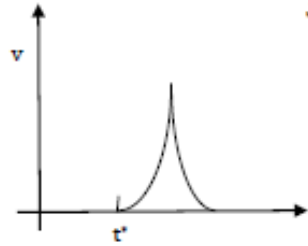
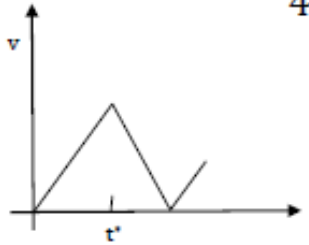
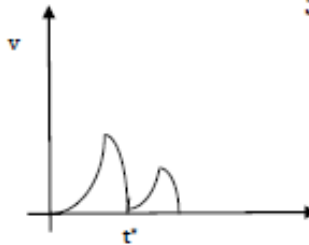
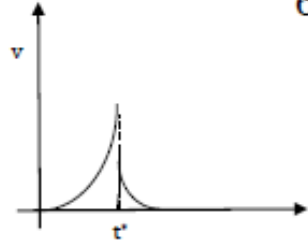
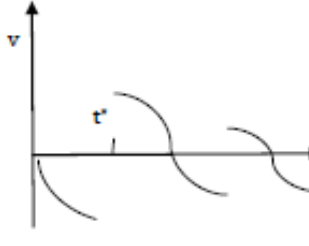
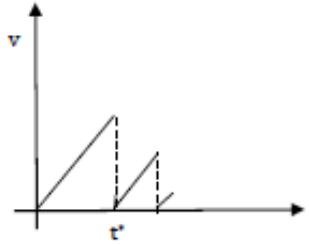
L'attività ha dunque ribadito l'importanza della scelta del sistema di riferimento che non può essere scontata o secondaria.

Una volta analizzati i grafici spazio-tempo passiamo ad analizzare i grafici velocità-tempo, in questo caso nessun alunno ha rappresentato correttamente il grafico richiesto.

TERZA FASE

I GRAFICI VELOCITÀ – TEMPO DEGLI ALLIEVI

42

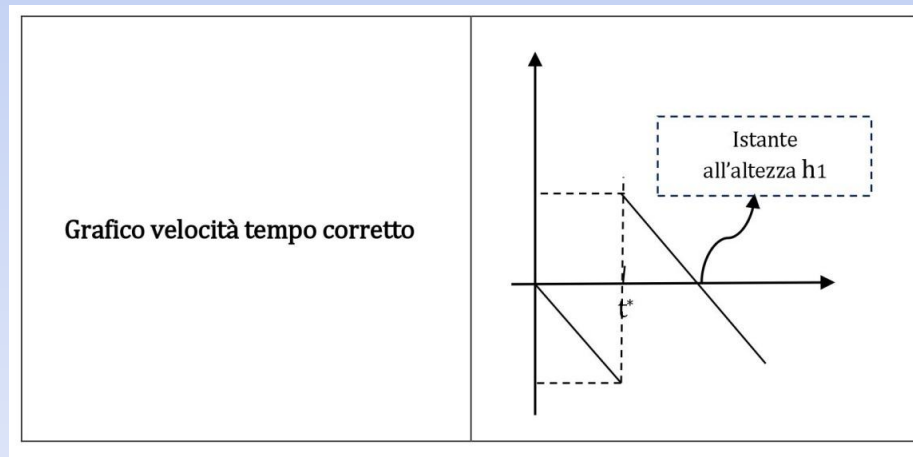
<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
4 studenti	2 studenti	2 studenti
t' istante in cui la pallina tocca terra.		
<p>4</p> 	<p>5</p> 	<p>6</p> 
11 studenti	1 studente	2 studenti
t' istante in cui la pallina tocca terra.		
<p>7</p> 	<p>8</p> 	
3 studenti	3 studenti	
t' istante in cui la pallina tocca terra.		

TERZA FASE

I GRAFICI VELOCITÀ – TEMPO DEGLI ALLIEVI

43

Il docente mostra alla classe la sintesi della diapositiva 42 e chiede di analizzare i grafici uno ad uno per vedere se rispecchiano il fenomeno. La maggior parte degli alunni escludono i grafici 3, 5, 6, 7 perché non hanno un andamento lineare, essendo il moto uniformemente accelerato. Nell'analizzare i rimanenti è emerso che gli alunni non hanno tenuto conto della natura vettoriale delle grandezze fisiche velocità e accelerazione, pertanto ho chiesto loro di schematizzare nuovamente i vettori velocità e accelerazione come nella 38 e scrivere l'equazione della velocità per la discesa, ($v = -g \cdot t$) e poi l'equazione della risalita, $v = v_0 - g \cdot t$. Ho chiesto di analizzare le due relazioni da un punto di vista matematico. Gli alunni riconoscono in entrambe l'equazione di una retta. A questo punto chiedo loro: "Quel è il coefficiente angolare e qual è il suo significato geometrico?". La maggior parte della classe riconosce in $-g$ il coefficiente angolare, quindi le due rette sono parallele, inoltre, essendo esso negativo individuano che la loro inclinazione con il semiasse positivo delle x è maggiore di 90° e rappresentano correttamente il grafico richiesto.

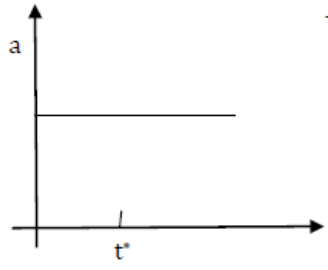

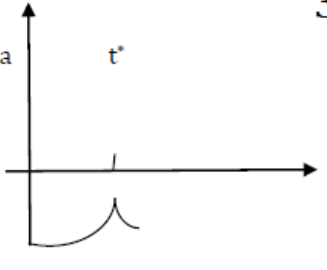


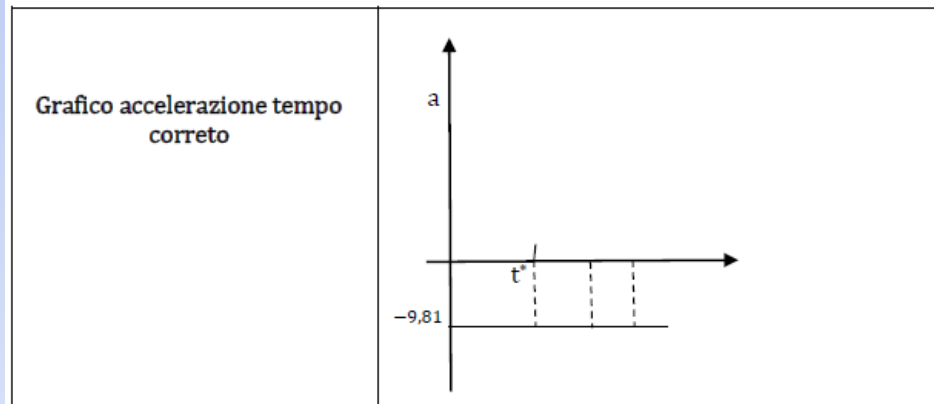
TERZA FASE

I GRAFICI ACCELERAZIONE – TEMPO DEGLI ALLIEVI

44

Infine si passa a mostrare la sintesi dei grafici accelerazione- tempo. Dopo le discussioni precedenti gli allievi sono consapevoli di non aver posto attenzione alla natura vettoriale e alla scelta del sistema di riferimento e sottolineano subito che il grafico 1 può esser ritenuto corretto se si sceglie il sistema di riferimento con l'asse delle accelerazioni con il verso opposto.

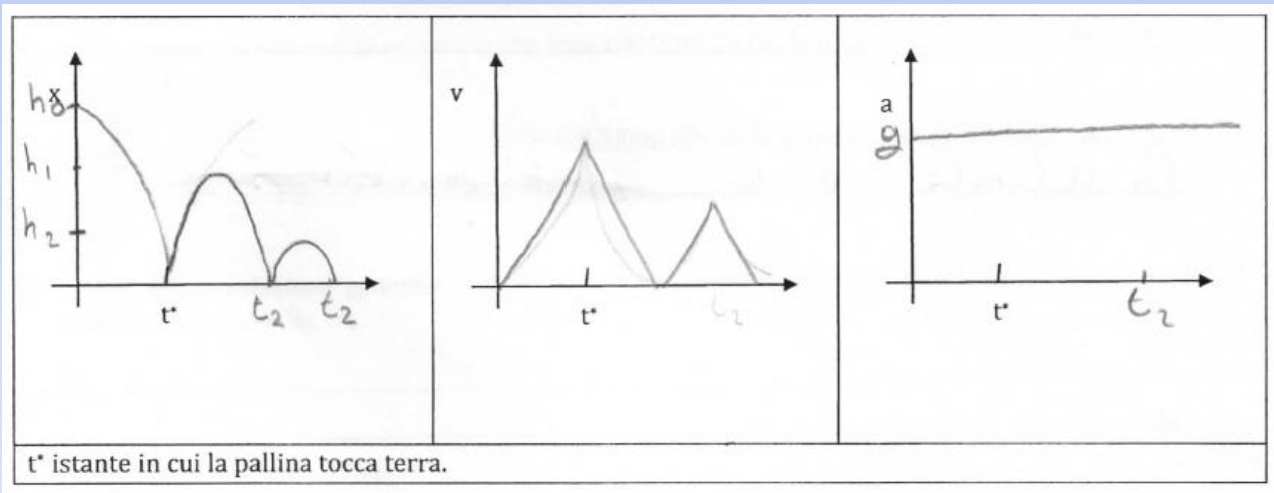
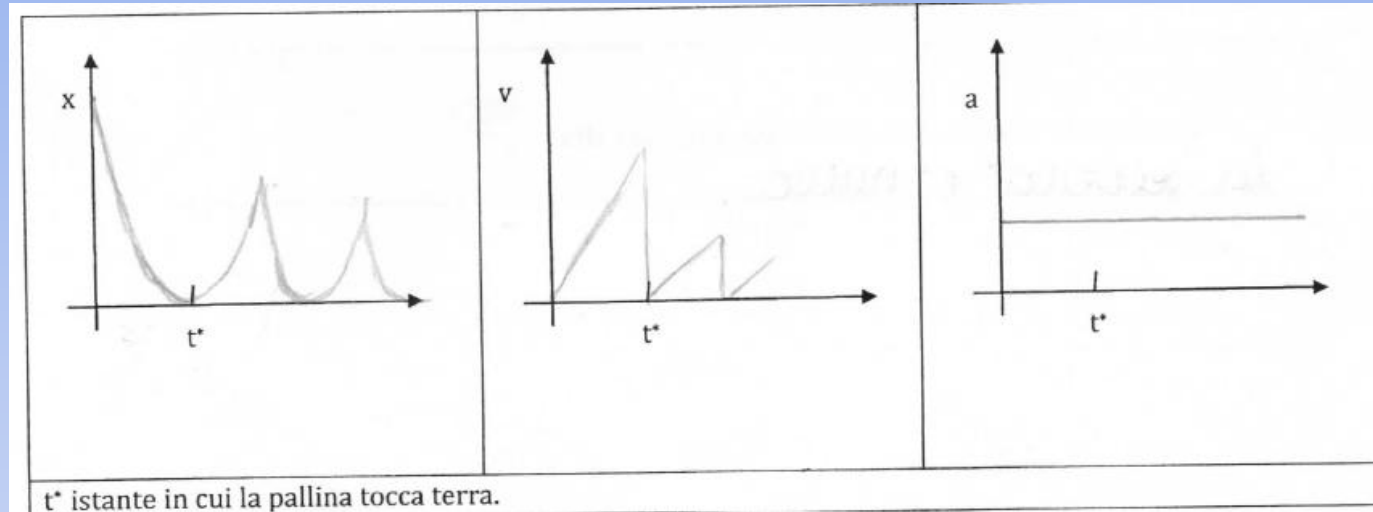
		
18 studenti	7 studenti	3 studenti
t^* istante in cui la pallina tocca terra.		



TERZA FASE

ALCUNI ESEMPI DI GRAFICI DEGLI ALUNNI

45



QUARTA FASE

46

Nell'ultima fase attraverso domande mirate e in base alle loro conoscenze si prova a individuare la relazione esistente tra le velocità prima e dopo l'urto. Vengono posti ai ragazzi i seguenti quesiti:

1. **Sappiamo calcolare la velocità v_i con cui la pallina arriva a terra, se conosciamo la quota di partenza h_{i-1} ?**
2. **Sappiamo calcolare la velocità v'_i con cui la pallina lascia terra, se conosciamo la quota massima h_i a cui arriva con velocità nulla ?**
3. **Conoscendo la relazione tra le quote massime h_{i-1} e h_i in rimbalzi successivi, si può trovare una relazione che lega le velocità della pallina v_i immediatamente prima dell'urto e v'_i immediatamente dopo aver toccato il suolo ?**

QUARTA FASE

47

- La maggior parte della classe, utilizzando il principio di conservazione dell'energia meccanica, risponde correttamente ai quesiti 1. e 2.
- L'ultimo quesito invece ha creato qualche difficoltà perché solo una parte è riuscita a giungere alla relazione cercata mentre gli altri, pur intuendo la strada da percorrere, non vanno avanti nei passaggi.

Durante la discussione finale scrivo alla lavagna tutte le relazioni individuate dagli allievi durante il percorso:

$$\text{A) } \mathbf{V}_{\text{prima dell'urto}} = \sqrt{(2gh_{i-1})} \quad \text{B) } \mathbf{V}_{\text{dopo l'urto}} = \sqrt{(2gh_i)} \quad \text{C) } h_i = \varepsilon h_{i-1}$$

Ho chiesto agli allievi che non erano giunti alla relazione cercata, di riflettere con calma e di utilizzare A), B) e C) per mettere in relazione le velocità prima e dopo l'urto. La riflessione dei ragazzi parte da ciò che avevano già intuito durante l'attività: la somiglianza tra la A) e la B). Dopo qualche attimo di riflessione alcuni alunni intuiscono che possono usare la C) nella A) oppure nella B) arrivando alla relazione

$$\mathbf{V}_{\text{dopo l'urto}} = \sqrt{\varepsilon} * \mathbf{V}_{\text{prima dell'urto}} .$$

QUARTA FASE

ALCUNI ESEMPI DI RISPOSTE DEGLI ALUNNI

48

3. Conoscendo la relazione tra le quote massime h_{i-1} e h_i in rimbalzi successivi, si può trovare una relazione che lega le velocità della pallina v_i e v'_i immediatamente prima e immediatamente dopo aver toccato il suolo?

$$\frac{v_i^2}{v_i} = \frac{\sqrt{2gh_i}}{\sqrt{2gh_{i-1}}} = \sqrt{\frac{E_i \cdot h_0}{E_{i-1} \cdot h_0}} = \sqrt{\frac{E_i - (i-1) \cdot k}{E_{i-1} - (i-1) \cdot k}} = \sqrt{E}$$

$$v_i^2 = \sqrt{E} \cdot v_i$$

3. Conoscendo la relazione tra le quote massime h_{i-1} e h_i in rimbalzi successivi, si può trovare una relazione che lega le velocità della pallina v_i e v'_i immediatamente prima e immediatamente dopo aver toccato il suolo?

$$v_i = v'_i \cdot 3 \quad \frac{v_i}{v'_i} = 3 \text{ sappiamo che } v_i = \sqrt{2gh_i} \text{ e } v'_i = \sqrt{2gh_{i-1}}$$

$$\frac{\sqrt{2gh_i}}{\sqrt{2gh_{i-1}}} = 3 \quad \frac{h_{i-1}}{h_i} = 3 \text{ quindi } \frac{v_i}{v'_i} = \frac{h_i}{h_{i-1}} = 3$$

VERIFICA DEGLI APPRENDIMENTI

49

La verifica degli apprendimenti si è basata essenzialmente sui seguenti aspetti

- Riflessioni e discussioni durante il percorso.
- Verifiche sommative eseguite mediante prove scritte e prove orali.

ESEMPI DI VERIFICHE SVOLTE

50

- Esempio di traccia per la verifica.

Una palla cade dal primo piano di un palazzo alto 3,0 m, urta il suolo e risale ad una quota di 2,1 m.

- Con quale velocità tocca terra la pallina?
- Con quale velocità risale la pallina?
- Quanto vale il coefficiente di restituzione dell'energia?
- Di quanto risalirà la pallina durante un secondo rimbalzo?

RISULTATI OTTENUTI

Gli alunni hanno mostrato impegno, serietà e passione durante tutte le fasi dell'attività e per questo aspetto il risultato è stato sicuramente positivo. Inoltre, durante la discussione finale sul percorso, gli alunni sono stati capaci di riconoscere e saper correggere i propri errori.

Le prove di verifica, sia in forma di colloquio orali che prove scritte, hanno avuto risultati adeguati.

Valutazione dell'efficacia del percorso

52

Ritengo che il percorso proposto sia significativo dal punto di vista didattico. Sebbene sia strutturato, ha il pregio di spostare l'attenzione sugli alunni rendendoli protagonisti del loro apprendimento. Permette ai ragazzi di confrontarsi con un altro modo di apprendere e di applicare le proprie conoscenze.

Inoltre, come illustrato all'inizio, l'attività è una buona occasione di consolidamento delle conoscenze pregresse. Gli alunni devono saper richiamare ciò che hanno studiato e imparato in precedenza e, come ho potuto riscontrare nell'analisi dell'attività, non sempre queste sono sedimentate in maniera corretta facendo riemergere l'immagine di senso comune contrastante con quella scientifica.

L'esperienza si è rivelata ampia e ricca di elementi di discussione, perciò, al fine di migliorarla, penso di attuare le seguenti modifiche per i prossimi anni:

1. suddividerla in due attività, la prima da svolgersi durante il secondo anno di liceo (presa dei dati e analisi cinematica del moto); la seconda durante il terzo anno (analisi energetica del moto);
2. discutere le risposte degli alunni alla fine di ogni fase di lavoro per renderli più consapevoli del percorso e prevenire alcune inesattezze per le fasi successive;
3. acquisire i dati anche con il sensore di moto così da analizzare i grafici in tempo reale e richiedere lo studio dei dati effettuati col sensore, ad esempio, come verifica da fare a casa, magari con un foglio elettronico.