

Galileo: il peso dell'esperimento

di Nadia Correale

Nucleo Trasversale

Storia della Scienza (riferito a L'energia e le sue trasformazioni)

Autore

Nadia Correale

Referente Scientifico

Giovanni di Pasquale

Ordine di scuola

Scuola secondaria di primo grado

Ordine di scuola

Classi prima, seconda e terza

Tempo medio per svolgere il percorso

18 ore

Indice

Scheda generale	3
Descrizione del percorso	6
Attività 1 - Confronto tra le pre-conoscenze degli studenti e le convinzioni degli antichi sul moto	7
Attività 2 - Gli esperimenti del piano inclinato e del pendolo	13
Attività 3 - Immedesimiamoci nel modo di pensare di Galileo	20
Indicazioni metodologiche	25
Spunti per un approfondimento disciplinare	25
Spunti per la valutazione	25
Spunti per altre attività con gli studenti	26
Documentazione e materiali	27

Scheda generale

Riferimenti alle Indicazioni per il curriculum

Affrontare concetti fisici quali: velocità, [...] forza ed energia, [...] effettuando esperimenti e comparazioni, raccogliendo e correlando dati con strumenti di misura e costruendo reti e modelli concettuali e rappresentazioni formali di tipo diverso (fino a quelle geometriche-algebriche).

Comparare le idee di storia naturale e di storia umana.

Organizzatori concettuali

Forza ed energia

Concetti chiave

Attraverso gli esperimenti eseguiti da Galileo del piano inclinato (su cui si fanno scorrere palline di diverso peso e volume) e del pendolo, si intende descrivere le caratteristiche generali del moto dei corpi soggetti a forze, in particolare dei gravi.

Prerequisiti dello studente

Conoscenza di base del metodo scientifico, delle unità di misura del Sistema Internazionale della massa e della lunghezza, del tempo e del volume; della proporzionalità diretta; del diagramma cartesiano (facoltativo).

Obiettivi lato docente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione del moto dei corpi e dei gravi dall'antichità al medioevo a Galileo.
- Trasmettere agli studenti l'idea che la scienza è un cammino di conoscenza che si sviluppa partendo da domande chiave che permettono di comprendere i fenomeni e di superare il senso comune.
- Ripercorrere i ragionamenti e gli esperimenti di Galileo per descrivere il moto di un corpo.¹

Obiettivi lato studente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione del moto dei corpi e dei gravi dall'antichità al medioevo a Galileo.
- Comprendere che un oggetto materiale qualsiasi, se sottoposto ad una forza, è sempre accelerato e non semplicemente posto in movimento e che tale misconcezione è dovuta all'effetto dell'attrito (dell'aria o delle superfici) mai eliminabile del tutto nella realtà naturale.
- Comprendere che il moto di un grave sulla terra ha sempre la stessa accelerazione costante indipendentemente del suo peso e dal suo volume.
- Comprendere l'importanza di usare strumenti precisi di misura per quanto riguarda il tempo impiegato dalla pallina a cadere dal piano inclinato.
- Comprendere l'importanza di giungere a formulare una legge matematica generale che esprima la relazione tra spazio percorso dalla pallina del piano inclinato e tempo impiegato (legge oraria del moto) e se e come cambia questa legge al variare dell'inclinazione del piano.
- Comprendere i nessi e le analogie tra il fenomeno del moto della pallina sul piano inclinato e del moto del pendolo.

¹ A questo obiettivo si connettono i seguenti obiettivi derivati e più particolari:

- trasmettere agli studenti l'importanza di usare strumenti precisi di misura;
- consentire l'apprendimento del formalismo matematico (compreso quello grafico e algebrico) attraverso la relazione tra spazio percorso dalla pallina del piano inclinato e tempo impiegato a percorrerlo (legge oraria del moto);
- favorire l'individuazione delle variabili che determinano il cambiamento della velocità della pallina (variazione dell'inclinazione del piano) e quali invece non influiscono (massa e volume della pallina se l'attrito dell'aria non incide);
- agevolare l'individuazione dei nessi intercorrenti tra il moto sul piano inclinato e sul pendolo.

Competenze lato docente

- Partire dalle preconoscenze degli studenti per organizzare e animare situazioni di apprendimento significativo;
- dedicare tempi ampi alla discussione, al dialogo, al confronto alla riflessione su quello che si fa;
- individuare nel linguaggio corrente i modi di esprimersi in accordo o disaccordo con i corretti termini scientifici;
- fornire agli studenti strumenti di lettura analitica e critica della "complessità" del mondo naturale, stimolandoli ad applicare il metodo scientifico in contesti ambientali e sociali;
- riflettere sui modi di procedere della scienza, sulle sue specificità e sui suoi vincoli, anche culturali e sociali.

Competenze lato studente

- Saper raccogliere e ordinare dati sperimentali.
- Imparare ad annotare sistematicamente le osservazioni compiute al fine di poterle analizzare proficuamente in tempi successivi.
- Elaborare ipotesi sulla base dei dati raccolti e delle conoscenze personali e formulare proposte di esperimenti atti a verificarle.
- Trarre conclusioni basate sui fenomeni osservati e sugli esperimenti svolti.
- Conoscere ed apprezzare il percorso storico di alcune delle conoscenze scientifiche apprese, riconoscendo l'importanza dei contesti culturali e sociali.

Descrizione del percorso

Prima di iniziare la descrizione del percorso occorre precisare che alcuni dei contenuti e approfondimenti trattati non potranno essere utilizzati durante le lezioni così come sono, data la loro complessità, a meno di operare opportune semplificazioni. Mi sto riferendo, per esempio, alla differenza tra massa gravitazionale e inerziale, alla lettura dei testi di Galileo o alle analogie tra moto del pendolo e dei gravi sul piano inclinato. Sarà da questo punto di vista il docente a valutare, in base agli studenti a cui si rivolge e ad altre considerazioni personali, quali contenuti è opportuno proporre e in base a quale modalità.

Durante la prima attività vengono poste delle domande agli studenti per sondare le loro pre-conoscenze. Il loro senso comune viene messo a confronto con l'interpretazione data dagli antichi. Vengono forniti cenni storici relativi al tentativo da parte di alcuni studiosi medievali di superare l'interpretazione del moto che proveniva dal mondo antico.

Nella seconda attività vengono eseguiti degli esperimenti per verificare se il moto dipende: dalla forma, dal peso (il termine peso viene utilizzato, anche se impreciso dal punto di vista scientifico, in quanto non si ritiene necessario che gli studenti conoscano la differenza che intercorre tra il termine massa e peso) o dal volume delle palline poste sul piano inclinato, dall'inclinazione del piano inclinato; sul piano inclinato deve avvenire una quantificazione precisa dello spazio percorso e del tempo impiegato analogamente a quanto aveva effettuato Galileo. Un ultimo esperimento riguarda il moto del pendolo. Anche in questo caso si chiede se il moto dipende dal peso, dal volume della pallina appesa e dalla lunghezza della corda. Facoltativamente si possono effettuare considerazioni riguardo all'ampiezza dell'angolo (se non è troppo ampio non c'è dipendenza). Una volta eseguiti gli esperimenti, ogni gruppo svolge una relazione - corredata se possibile, di grafico - e la espone al docente, che ha modo di apportare le dovute correzioni, e agli altri studenti in modo tale che il lavoro svolto diventi patrimonio comune. Ovviamente il docente può anche decidere di proporre meno esperimenti o di effettuare una semplice dimostrazione, oppure di seguire la proposta dei gruppi, i quali però eseguono tutti contemporaneamente lo stesso esperimento. Attraverso la terza attività si ha l'occasione di consolidare le conoscenze frutto dell'attività sperimentale ripercorrendo i passi del grande inventore e pensatore, attraverso immagini e suoi testi.

Attività 1 - Confronto tra le pre-conoscenze degli studenti e le convinzioni degli antichi sul moto

Obiettivi specifici lato studente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione del moto dei corpi e dei gravi dall'antichità al medioevo a Galileo.
- Comprendere che un oggetto materiale qualsiasi, se sottoposto ad una forza, è sempre accelerato e non semplicemente posto in movimento, come l'effetto dell'attrito (dell'aria o delle superfici) ci indurrebbe a presumere.

Competenze specifiche lato studente

- Trarre conclusioni basate sui fenomeni osservati.
- Conoscere ed apprezzare il percorso storico di alcune delle conoscenze scientifiche apprese, riconoscendo l'importanza dei contesti culturali e sociali.

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 4 h

Introduzione all'attività

Dopo aver mostrato/proiettato delle immagini:



Fig. 1: Macchina spinta [\[fonte\]](#)



Fig. 2 Sollevamento pesi
[Copyright: autore julie.froo, licenza CC BY 2.0]



Fig.3 Tiro alla fune [Copyright: autore jannissary, licenza CC BY-NC-SA 2.0]

Vengono poste agli studenti le seguenti domande:

Perché la macchina, il masso e la fune si muovono?

Quali azioni sono state compiute nelle tre situazioni osservate?

Perché è stato utilizzato un carrello per muovere la macchina?

Cambia la velocità se aumenta il numero di persone che la muovono e se sì, in che modo?

Attraverso le risposte degli studenti emerge un'idea intuitiva di movimento tale per cui occorre spingere con maggior forza se si vuole che il corpo si muova più velocemente. Se una persona spinge un oggetto (nel nostro caso la macchina) molto pesante da solo, la velocità è certamente inferiore rispetto a quando lo aiuta qualcuno. Il senso comune ci suggerisce dunque che la velocità è essenzialmente legata all'azione di spingere, sollevare o tirare, come è stato osservato attraverso le immagini. Com'è noto ai lettori di gialli polizieschi, un falso indizio imbroglia le cose e ritarda la soluzione. Così è avvenuto nel caso del moto: il ragionamento suggerito dall'intuizione era erraneo e condusse a false idee che prevalsero nei secoli. Inoltre occorre tener presente che il metodo sperimentale si affermò definitivamente solo a partire da Galileo e solo attraverso di esso è possibile svincolarsi da conclusioni intuitive basate sull'osservazione immediata, che possono condurre fuori strada. Per molto tempo, fino al medioevo si continuò a credere che la forza accompagna il moto durante tutto il tempo in cui esso avviene.

Infatti nella *Meccanica* attribuita ad Aristotele si legge:

Il corpo in moto si arresta, allorché la forza che lo spinge non può più agire più oltre in modo da spingerlo.

Aristotele inoltre riteneva che qualora il corpo si muovesse anche in assenza della spinta di qualche altro corpo - come per esempio accade ad una freccia dopo essere stata scoccata da un arciere - in questo caso fosse l'aria a mantenerlo in movimento.

Galileo comprese dov'è che l'intuizione sbaglia: la tendenza spontanea di un corpo in movimento libero da forze che lo ostacolano è di continuare a muoversi per sempre, al contrario di quel che credevano i filosofi aristotelici. Per questo anche la freccia, una volta scoccata, continua a muoversi; perciò non è l'aria a trasmettere il movimento, piuttosto essa agisce in senso opposto frenando l'oggetto (come vedremo più approfonditamente in seguito). Nella terza attività è riportato un dialogo scritto da Galileo in cui è spiegato nei dettagli questo passaggio.

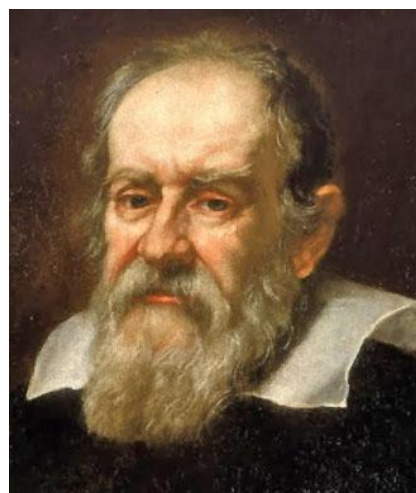


Fig. 4: Ritratto di Galileo

Per approfondimenti ed esemplificazioni riguardo a questo aspetto rimandiamo al percorso didattico *"Da uno scivolo non sempre si scivola"*, dove possono essere visionati anche filmati che mostrano per esempio cosa succede all'oggetto in moto se esso viene fortemente attenuato da varie fonti di attrito, potrebbe essere l'aria o il tipo di superficie su cui scorre l'oggetto.



Fig. 5: Galileo mentre esegue l'esperimento del piano inclinato

Un'altra convinzione degli antichi era che tutti i corpi tendessero spontaneamente a raggiungere il proprio "luogo naturale", determinato dalla loro forma sostanziale: corpi leg-

geri tenderanno quindi a salire e corpi pesanti a scendere, con una velocità proporzionale al loro peso.

Osserva però Galileo:

«Ma se questo è, ed è insieme vero che una pietra grande si muove, per esempio, con otto gradi di velocità, ed una minore con quattro, adunque congiungendole ambedue insieme, il composto di loro si muoverà con velocità minore di otto gradi: ma le due pietre, congiunte insieme, fanno una pietra maggiore che quella prima, che si muoveva con otto gradi di velocità; adunque questa maggiore si muove meno velocemente che la minore; che è contro vostra supposizione.»

(Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze, pag. 37)

[Audio - caduta corpi](#)

Attraverso questo ragionamento, riportato in originale, Galileo contesta il principio aristotelico secondo cui gli oggetti cadono con velocità proporzionali al loro peso. Si giungerebbe, infatti ad una contraddizione: la somma di due corpi congiunti, certamente più pesante di entrambi presi isolatamente, dovrebbe, in base a tale principio, muoversi con velocità superiore ad entrambi, mentre invece se non considerati come un corpo unico, l'esperienza ci dice che la composizione di essi si muoverà con una velocità intermedia a quella dei due corpi.

Le due immagini che seguono possono essere anche mostrate/proiettate agli studenti e commentate come è riportato sotto la didascalia.

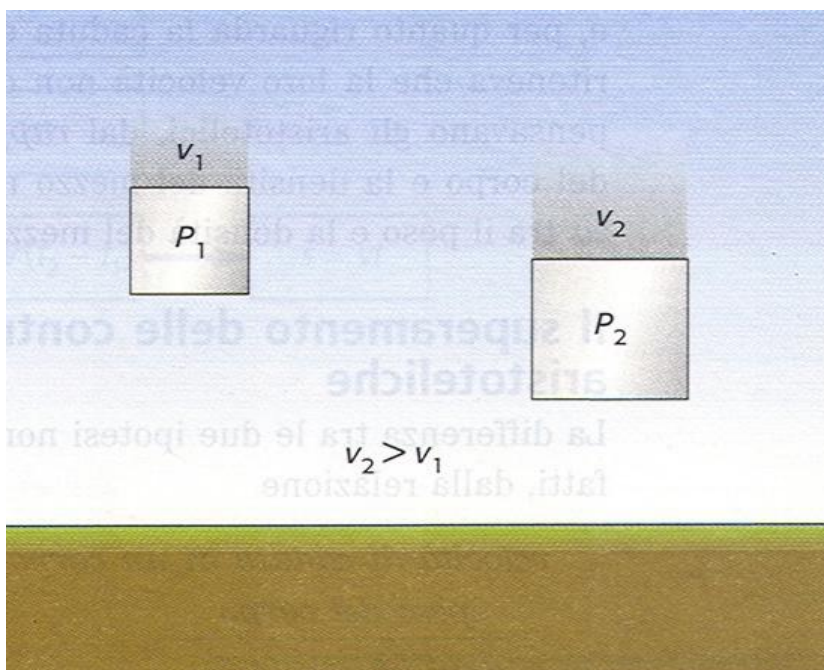


Fig 6 La caduta dei corpi secondo Aristotele: gli oggetti cadono con velocità proporzionali al loro peso.

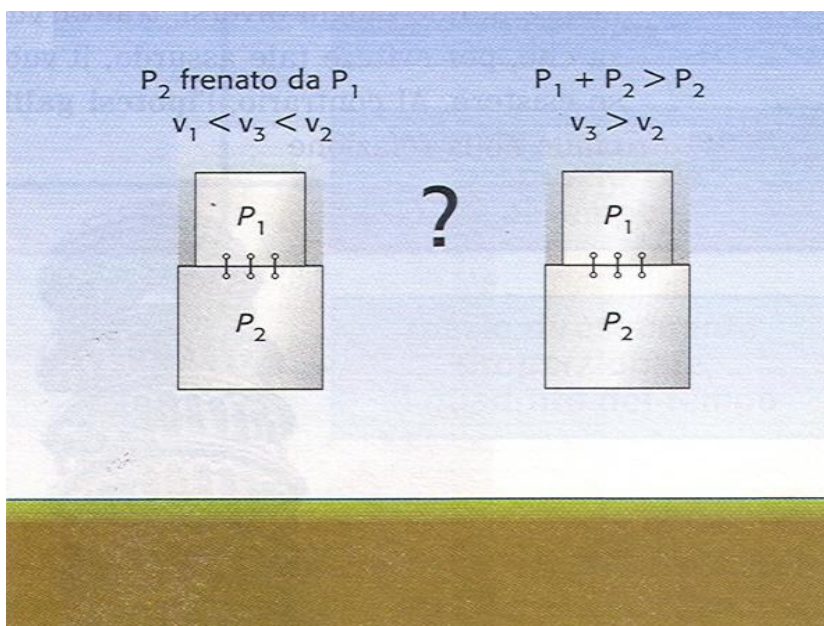


Fig. 7: La caduta di due corpi uniti di diverso peso. Il disegno illustra la domanda che si è posto Galileo: se ha ragione Aristotele, quando due oggetti di peso diverso vengono uniti quale sarà la velocità totale?

L'eredità della tradizione medievale

In questa sezione vengono forniti cenni storici relativi al tentativo da parte di alcuni studiosi medievali di superare l'interpretazione del moto che proveniva dal mondo antico. Il metodo scientifico galileiano, il cui fondamento è l'esperimento, nasce dunque nell'alveo della tradizione medievale. Secondo la visione cristiana il mondo è creato da Dio in un atto libero di amore. Di conseguenza prima di tutto esso è donato e genera stupore e meraviglia per la sua bellezza. In secondo luogo è ordinato e le leggi della natura che lo gover-

nano sono a noi comprensibili ed esprimibili in un linguaggio razionale che è quello matematico.

Scrive Galileo ad un suo amico:

«Et sì come sono di infinito stupore, così infinitamente rendo grazie a Dio, che si sia compiaciuto di far me solo primo osservatore di cosa ammiranda, et tenuta a tutti i secoli occulta.»

(Lettera a Belisario Vinta, in Opere, X, p. 280)

Le conoscenze

Nel medioevo alcuni studiosi come Buridano, ritenevano che i corpi indipendentemente dal loro peso, cadessero tutti alla stessa velocità senza l'effetto dell'aria. Inoltre i corpi lanciati si muovevano attraverso l'aria perché era dato loro un certo "impeto" iniziale e non per effetto del moto dell'aria, come sosteneva Aristotele. Oresme aveva esposto un enunciato sulla relatività del moto e fu il primo a scoprire la "legge dei numeri dispari" relativa al moto uniformemente accelerato che avremo occasione di descrivere nella terza attività che riguarda gli esperimenti condotti da Galileo che utilizzano il piano inclinato.

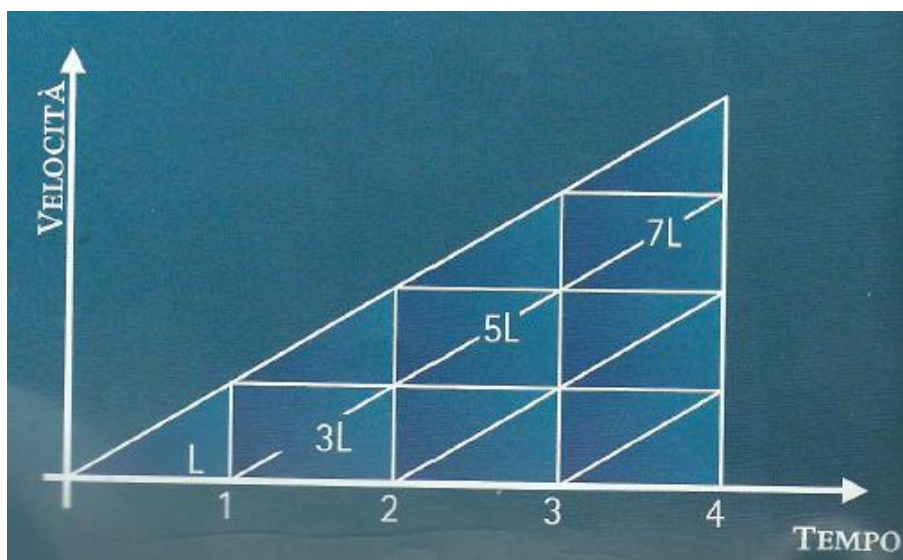


Fig. 8: Grafico della legge dei numeri dispari. Nel primo intervallo di un secondo il corpo percorre uno spazio L , nel secondo intervallo uno spazio $3L$ e così via. Poiché la somma delle aree dà lo spazio totale percorso, ne segue che lo spazio totale percorso in un certo tempo è proporzionale al tempo al quadrato. [Associazione Euresis (a cura di) (2005). *Sulle spalle dei giganti*, Seed, p. 32]

Attività 2 - Gli esperimenti del piano inclinato e del pendolo

Obiettivi specifici lato studente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione del moto dei corpi e dei gravi dall'antichità al medioevo a Galileo.
- Comprendere, attraverso la riduzione degli effetti dell'attrito, che un oggetto materiale qualsiasi, se sottoposto ad una forza, è sempre accelerato e non semplicemente posto in movimento.
- Comprendere che il moto di un grave sulla terra ha sempre la stessa accelerazione costante indipendentemente dal suo peso e dal suo volume.
- Comprendere l'importanza di usare strumenti precisi di misura per quanto riguarda il tempo impiegato dalla pallina a cadere dal piano inclinato.
- Comprendere l'importanza di giungere a formulare una legge matematica generale che esprima la relazione tra spazio percorso dalla pallina del piano inclinato e tempo impiegato (legge oraria del moto) e se e come cambia questa legge al variare dell'inclinazione del piano.
- Comprendere i nessi e le analogie tra il fenomeno del moto della pallina sul piano inclinato e del moto del pendolo.

Competenze specifiche lato studente

- Saper raccogliere e ordinare dati sperimentali.
- Imparare ad annotare sistematicamente le osservazioni compiute al fine di poterle analizzare proficuamente in tempi successivi.
- Elaborare ipotesi sulla base dei dati raccolti e delle conoscenze personali e formulare proposte di esperimenti atti a verificarle.
- Trarre conclusioni basate sui fenomeni osservati e sugli esperimenti svolti.

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 10 h compreso il lavoro della relazione la cui stesura finale può essere completata a casa (tempo della relazione: prima bozza durante l'esperimento: 1,5 h; stesura finale ben ordinata con grafico, tabella ecc.: 2h).

Introduzione all'attività

A questo punto ci sono tutti gli elementi perché gli studenti possano svolgere gli esperimenti a gruppi che a grandi linee avevamo già descritto. Ora dettagliamo quali sono le domande guida che costituiscono l'obiettivo degli esperimenti e che vengono esplicitate dal docente in maniera discorsiva prima che gli studenti inizino il loro lavoro. Si noti che gli esperimenti vanno eseguiti in questa successione, nel senso che ogni fase approfondisce la successiva. Eventualmente la prima fase potrebbe non essere svolta dagli studenti, bensì discussa ed eseguita in classe. Le domande: "Cosa faccio? (o anche "cosa occorre" se l'esperimento è più complesso), Cosa osservo?, Cosa capisco?" costituiscono la traccia del-

la relazione che gli studenti devono produrre. Si noti che nella risposta alla seconda domanda sono contenute sia osservazioni qualitative che quantitative (misurazioni, tabelle, grafici). La risposta all'ultima domanda contiene invece la spiegazione di quanto è stato osservato. Tali domande non sono da intendersi come un modello rigido: ogni insegnante può attenersi al suo modo di lavorare usuale nell'assegnare le relazioni se questa traccia non lo convince.

Descrizione dell'attività

STEP 1 – IL MOTO DEI GRAVI

La velocità di caduta di un grave dipende dalla sua forma?

Che cosa faccio? Un foglio di carta appallottolato e uno disteso presi dallo stesso quaderno vengono fatti cadere alla stessa altezza

Che cosa osservo? I due corpi toccano il pavimento in due momenti diversi.

Che cosa capisco? La velocità di caduta dipende dalla sua forma. L'ipotesi è che ciò dipenda dalla resistenza dell'aria, pensando a certi esempi (paracadute) o anche osservando attentamente cosa succede al foglio disteso. Si può anche far riferimento alla caduta di un piatto di plastica nelle diverse situazioni qui sotto illustrate:

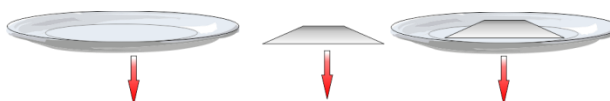


Fig. 9: Caduta di un piatto di plastica in posizione orizzontale piano, rovesciato fondo. Cambia qualcosa se i due piatti partono insieme uno sopra l'altro (terza figura)?

La velocità di caduta di un grave dipende dal suo peso?

Che cosa faccio? Più palline uguali per forma ma diverse per materiale (da ping-pong, di legno, di plastica, di acciaio, di vetro) e quindi per peso (o meglio massa), vengono lasciate cadere dallo stesso punto.

Che cosa osservo? I corpi toccano il pavimento non cadono proprio nello stesso momento, quindi non impiegano esattamente lo stesso tempo per compiere lo stesso percorso.

Cosa capisco? La velocità di caduta dei gravi sembrerebbe dipendere in minima parte dal peso, ma la differenza è piccola, soprattutto se le palline cominciano ad essere molto pesanti.

STEP 2 – IL MOTO DI UNA PALLA SU UN PIANO INCLINATO

La forza che spinge un grave a scivolare lungo un piano inclinato è la stessa che attrae un oggetto verso il basso se viene lasciato cadere. Tuttavia il piano inclinato rallenta il movimento e pertanto permette una misura più precisa dei tempi impiegati a percorrere un certo spazio (lunghezza del piano inclinato), quindi anche di osservare e misurare piccole differenze. Questo è il motivo per cui Galileo ha ideato questo tipo di esperimento.

Nel [Blog del progetto 10 Esperimenti per capire la fisica del liceo Fermi di Alghero](http://fisicaho.wordpress.com/scienza-in-piazza/scienza-in-piazza-2009/il-piano-inclinato/) [http://fisicaho.wordpress.com/scienza-in-piazza/scienza-in-piazza-2009/il-piano-inclinato/] si possono trovare utili suggerimenti per la progettazione e costruzione del piano inclinato.

Di seguito riportiamo, solo per avere un'idea, il materiale occorrente utilizzato riportato nel sito:

- un'asta di alluminio quadrangolare lunga 4,7 m e larga 4 cm (si trova dove vendono porte e finestre in alluminio anodizzato; costo circa 60 euro);
- le campanelle in un negozio per pescatori (2 euro l'una);
- fil di ferro (circa 3 euro) in qualunque Brico Center;
- carta gommata trasparente (circa 2 euro) in un qualunque Brico Center;
- una sfera, possibilmente di acciaio

In ultimo forniamo un simpatico spunto di lavoro: utilizzando un programma software di tipo audio (alcuni, come Nero Start Smart, sono scaricabili anche gratis da Internet), si può registrare il suono dei campanellini e in seguito automaticamente misurare gli intervalli di tempo intercorrenti tra i suoni, che dovrebbero risultare (se il piano è stato costruito con cura) costanti.

La velocità di caduta di un grave su un piano inclinato dipende dal suo peso?

Cosa faccio? Fissata l'inclinazione del piano due biglia diverse vengono fatte rotolare lungo un piano inclinato. Si misura il tempo che i corpi impiegano a percorrere il piano.

Cosa osservo? Il tempo impiegato è lo stesso e le palline aumentano la loro velocità (attenzione! La velocità cambia: incrementa). Si può approfondire la questione determinando il tempo impiegato dalla pallina per cadere da diverse altezze e costruendo il grafico dello spazio percorso in funzione del tempo. Inoltre può essere variato l'angolo di inclinazione del piano per vedere cosa cambia nella legge.

Cosa capisco? Tutti i corpi sono soggetti alla stessa variazione di velocità indipendentemente dal loro peso. Questo è certamente strano perché apparentemente sembrerebbe che più un corpo è pesante più è veloce nella sua caduta in quanto l'attrazione esercitata dalla gravità su un corpo è tanto maggiore quanto maggiore è la sua massa gravitazionale, cioè la proprietà per cui i corpi "sentono" la gravità; se questo non

succede è solo perché i corpi hanno anche un'altra proprietà (la massa inerziale) che si oppone al movimento e che è esattamente uguale alla massa gravitazionale. Perciò allo stesso tempo, aumentando il peso di un oggetto, aumenta anche la sua resistenza a muoversi in proporzione al suo peso. Attraverso l'utilizzo di excel, che permette di scegliere quale funzione approssima meglio i dati, oppure dalla tabella dei dati stessi, è possibile guidare i ragazzi alla scoperta della legge ed eventualmente produrre un ulteriore grafico del tempo al quadrato impiegato e dello spazio percorso per visualizzare l'andamento lineare delle due variabili in gioco. In questo modo diventa anche più chiara la connessione che si vuole mettere in risalto con l'esperimento del pendolo che segue. Si può inoltre mostrare che le due grandezze sono legate dalla stessa costante di proporzionalità, che è rappresentata dall'accelerazione di gravità.

Per avere suggerimenti riguardo a come costruire il grafico del tempo impiegato al quadrato rispetto allo spazio percorso, si consulti la simulazione eseguita con geo gebra sotto la voce "misure":

[Simulazione](http://www.ilsitodi.it/laboratoriodifisica/piano_inclinato_galilei/piano_incl_galilei.html)

www.ilsitodi.it/laboratoriodifisica/piano_inclinato_galilei/piano_incl_galilei.html

Eventualmente si può proporre anche agli studenti di consultare il sito per esercitazioni a casa, per vedere come cambia il moto al variare dell'inclinazione dell'angolo del piano.

STEP 3 – IL MOTO DEL PENDOLO

Mettiamo a fuoco le domande a cui intendiamo rispondere attraverso l'esperimento:

- ***Il periodo di oscillazione di un pendolo dipende dal peso del grave?***
- ***Il periodo di oscillazione di un pendolo dipende dalla lunghezza della corda?***
- ***Il periodo di oscillazione di un pendolo dipende dall'ampiezza dell'angolo iniziale?***

Cosa occorre? Cosa faccio? Una corda legata a un supporto stabile con altezza regolabile alla cui estremità è collegata una pallina (suggerimento: palline di gomma, di plastica o di legno sono facilmente collegabili mediante, per esempio, chiodo (o un perno di metallo, in tal caso aggiungere per il calcolo della lunghezza dell'arco anche la lunghezza del perno) infilato nella pallina e legato alla corda.

Cronometro digitale o orologio dotato di cronometro.

Metro a nastro per misurare la lunghezza della corda opportunamente variata. (NB la lunghezza dell'arco, per l'esattezza, è data dalla somma della corda più il raggio della sferetta, che va dunque misurato.)

Note tecniche: i tempi di oscillazione vengono cronometrati a partire dalla terza o quarta oscillazione in quanto le prime oscillazioni sono di assestamento; occorre inoltre stare attenti che il moto oscillatorio si svolga rigorosamente su un piano e non su un'ellisse. Per rendere le misure più precise, sarebbe opportuno ripetere il calcolo del tempo delle oscillazioni - per ogni lunghezza di corda, di pallina utilizzata e di ampiezza di oscillazione - più volte (5 per esempio) e calcolare la media delle misure ottenute.

Cosa osservo? Il periodo di oscillazione dipende dalla lunghezza della corda: aumentando la lunghezza, aumenta il periodo. Non dipende, invece, dal peso del grave e dall'angolo iniziale, se è piccolo. Questa caratteristica si chiama isocronismo del pendolo.

Il grafico. Per capire il motivo per cui si sceglie di costruire il grafico del periodo di oscillazione al quadrato in funzione alla lunghezza della corda, può essere utile la seguente domanda guida: se esiste una relazione fra spazi percorsi e tempi impiegati nel caso di oggetti che si muovono in caduta libera o su un piano inclinato, non è che per caso esiste una relazione analoga anche per quanto riguarda il pendolo? Occorre però individuare i nuovi elementi in gioco: in questo caso non si misura più lo spazio percorso, bensì la lunghezza della corda; mentre il tempo che si misura è quello impiegato per compiere un'oscillazione.

Riportando i valori su un grafico ($T^2; L$) si dovrebbe trovare una retta che conferma la proporzionalità diretta fra la lunghezza del pendolo e il suo periodo elevato al quadrato.

In fig. 10 riportiamo un esempio di tabella e di grafico del periodo al quadrato in funzione della lunghezza della corda, costruito con excel.

Cosa capisco? Anche in questo caso esiste una legge che mette in relazione il quadrato del tempo, in questo caso il periodo di oscillazione della pallina, con la lunghezza, in questo caso della corda a cui è attaccata la pallina. Inoltre anche in questo caso si verifica che queste due grandezze sono legate dalla stessa costante di proporzionalità, che è rappresentata dall'accelerazione di gravità. Utilizzando il grafico ($T^2; L$) e calcolando la pendenza della retta, è infatti possibile ricavare il valore di g , fatto significativo, che ulteriormente conferma l'esistenza di un'effettiva analogia tra questi due tipi di moti, come aveva intuito anche Galileo.

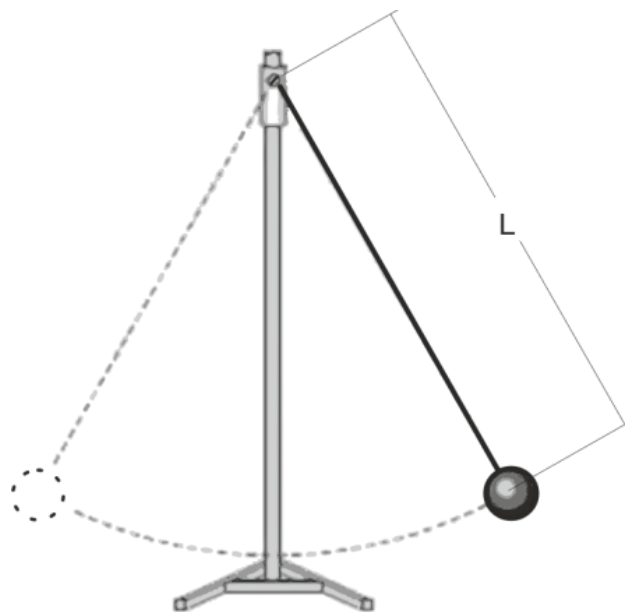


Fig. 11 : Il pendolo

[Tabella e grafico del periodo al quadrato in funzione della lunghezza della corda](#)

[tratta da Papucci S. (2000). *Manuale per il laboratorio della fisica*, Hoepli, p. 113]

Attività 3 - Immedesimiamoci nel modo di pensare di Galileo

Obiettivi specifici lato studente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione del moto dei corpi e dei gravi dall'antichità al medioevo a Galileo.
- Comprendere che il moto di un grave sulla terra ha sempre la stessa accelerazione costante indipendentemente dal suo peso e dal suo volume.
- Comprendere l'importanza di usare strumenti precisi di misura per quanto riguarda il tempo impiegato dalla pallina a cadere dal piano inclinato.
- Comprendere l'importanza di giungere a formulare una legge matematica generale che esprima la relazione tra spazio percorso dalla pallina del piano inclinato e tempo impiegato (legge oraria del moto) e se e come cambia questa legge al variare dell'inclinazione del piano.
- Comprendere i nessi e le analogie tra il fenomeno del moto della pallina sul piano inclinato e del moto del pendolo.

Competenze specifiche lato studente

- Trarre conclusioni basate sui fenomeni osservati e sugli esperimenti svolti.
- Conoscere ed apprezzare il percorso storico di alcune delle conoscenze scientifiche apprese, riconoscendo l'importanza dei contesti culturali e sociali.

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 4 h

Introduzione all'attività

Viene ricostruito il modo attraverso cui Galileo trae la legge matematica che descrive il moto dei gravi partendo dall'ipotesi che nel moto dei gravi l'accelerazione è costante e attraverso l'esperimento del piano inclinato. Viene utilizzato il filmato del museo commentato con relativi approfondimenti. Seguono due registrazioni di citazioni di Galileo opportunamente spiegate (estrapolate dal *Dialogo sopra ai massimi sistemi*). La prima mette a fuoco l'aspetto dell'attrito che rallenta sempre il moto:

«SALV. Parmi dunque sin qui che voi mi abbiate esplicati gli accidenti d'un mobile sopra due diversi piani; e che nel piano inclinato il mobile grave spontaneamente discende e va continuamente accelerandosi, e che a ritenerlo in quiete bisogna usarvi forza; ma sul piano ascendente ci vuol forza a spingervelo ed anco a fermarlo, e che il moto impressogli va continuamente scemando, sì che finalmente si annichila. [...] Ora ditemi quel che accadrebbe del medesimo mobile sopra una superficie che non fusse né acclive né declive. [...]

SIMP. Io non ci so scorgere causa di accelerazione né di ritardamento, non essendoci né declività né acclività.

SALV. Sì. Ma se non vi fusse causa di ritardamento, molto meno vi dovrebbe esser di quiete: quanto dunque vorreste voi che il mobile durasse a muoversi?

SIMP. Tanto quanto durasse la lunghezza di quella superficie né erta né china.

SALV. Adunque se tale spazio fusse interminato, il moto in esso sarebbe parimente senza termine, cioè perpetuo»

(Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze, in Opere, VIII, p. 243)

[Audio - senza attrito](#)

«Qualunque velocità impressa ad un mobile è per sua natura invariabile, fintantoché ogni causa esterna di accelerazione o di ritardazione è assente; condizione questa che si verifica soltanto sui piani orizzontali, poiché su piani discendenti agisce una causa di accelerazione e nei piani ascendenti una causa di ritardo, donde parimenti segue che il moto sul piano orizzontale dura in eterno poiché, in quanto uniforme, non aumenta, né diminuisce e tanto meno cessa.»

(Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze, in Opere, VIII, p. 243)

[Audio - moto uniforme](#)

Galileo attraverso questo dialogo spiega che non è necessaria una forza per mantenere un corpo in moto, ma solo per arrestarlo; inoltre non è la velocità o il movimento dell'oggetto che caratterizza l'azione di una forza, ma l'accelerazione. Il fatto (in sé vero) che noi dobbiamo sempre applicare una forza per mantenere un corpo in movimento non dipende da una tendenza intrinseca del corpo a fermarsi, ma dalla necessità di compensare l'attrito che ostacola il movimento. Per convincere il suo interlocutore della veridicità della sua ipotesi, Galileo utilizza l'esempio del moto di un grave su un piano inclinato: se il suo moto sappiamo che è accelerato nei piani in discesa e decelerato nei piani in salita, ne consegue che nei piani orizzontali, in cui non c'è nessuna pendenza, dovrà permanere con velocità non variabile. Cogliamo l'occasione per evidenziare che non sempre, come in questo caso, si possono effettuare esperimenti per verificare l'ipotesi che presumiamo essere la spiegazione del fenomeno, in quanto l'attrito non è mai completamente eliminabile. Per questo motivo Galileo si è avvalso di un esperimento ideale, che non prescinde dall'osservazione, ma, attraverso il ragionamento, va oltre di essa. Il testo che abbiamo riportato sopra, non è altro che una descrizione di un esperimento ideale.

Si può inoltre osservare che, se è possibile coi mezzi odierni eliminare completamente l'attrito dell'aria creando il vuoto e quindi mostrare che oggetti non di diversa forma e peso cadono contemporaneamente, come mostra questo breve filmato:

[Video - La caduta dei gravi - L'esperimento di Galileo](http://www.youtube.com/watch?v=i-UCK6397_k)

www.youtube.com/watch?v=i-UCK6397_k

La stessa cosa non è consentita per gli oggetti trascinati su una superficie: il suo attrito non sarà mai completamente eliminabile.

La seconda registrazione riguarda la legge dei numeri dispari, che esprime la proporzionalità diretta tra frazioni di spazio percorso dalla pallina sul piano inclinato al quadrato e frazioni di tempo impiegato a percorrerlo (da cui si deduce che lo spazio percorso cambia come il quadrato del tempo impiegato a percorrerlo). Nel testo Galileo scrive che alla metà del tempo impiegato rispetto alla discesa del grave di tutto il piano, corrispondeva la quarta parte della lunghezza del piano e così via. Questo rapporto tra tempo impiegato e lunghezza si mantiene invariato anche se viene cambiata l'inclinazione del piano:

«Fatta e stabilita precisamente tale operazione, facemmo scender la medesima palla solamente per la quarta parte della lunghezza di esso canale; e misurato il tempo della sua scesa, si trovava sempre puntualissimamente esser la metà dell'altro: e facendo poi l'esperienze di altre parti, esaminando ora il tempo di tutta la lunghezza col tempo della metà, o con quello delli duo terzi o de i 3/4, o in conclusione con qualunque altra divisione, per esperienze ben cento volte replicate sempre s'incontrava, gli spazii passati esser tra di loro come i quadrati e i tempi, e questo in tutte le inclinazioni del piano, cioè del canale nel quale si faceva scender la palla; dove osservammo ancora, i tempi delle scese per diverse inclinazioni mantener esquisitamente tra di loro quella proporzione che più a basso troveremo essergli assegnata e dimostrata dall'Autore.»

(Galilei Galileo, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*)

[Audio - piano inclinato](#)

Galileo trova la legge dei numeri dispari (vedi grafico dell'esperimento). Ripetendo la misura per distanze diverse, Galileo deduce che lo spazio percorso è sempre proporzionale al quadrato del tempo impiegato a percorrerlo. In altri termini, se i tempi sono rappresentati da 1, 2, 3, 4, 5 ecc. gli spazi percorsi sono rispettivamente rappresentati da 1, 4, 9, 16, 25 ecc. Questa è la prima descrizione del tipo di moto definito, da Galileo in poi, "uniformemente accelerato".

Infine suggeriamo la visione di un filmato che descrive come Galileo eseguì l'esperimento attraverso le sue stesse parole contenute nel testo *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*:

[Video - TRB Studios - Il Piano Inclinato e l'Orologio ad Acqua](http://www.youtube.com/watch?v=MIXliNQubWA)

www.youtube.com/watch?v=MIXliNQubWA

Riportiamo i brani più significativi contenuti nel filmato. Nel primo Galileo descrive il suo esperimento del piano inclinato specificando con dovizia di particolari il materiale utilizzato, le loro misure, gli accorgimenti tecnici (superficie deve essere liscia, la palla ben arrotondata):

«In un regolo, o vogliàn dir corrente, di legno, lungo circa 12 braccia, e largo per un verso mezo braccio e per l'altro 3 dita, si era in questa minor larghezza incavato un canaletto, poco più largo d'un dito; tiratolo drittissimo, e, per averlo ben pulito e liscio, incollatovi dentro una carta pecora zannata e lustrata al possibile, si faceva in esso scendere una palla di bronzo durissimo, ben rotondata e pulita; costituito che si era il detto regolo pendente, elevando sopra il piano orizzontale una delle sue estremità un braccio o due ad arbitrio, si lasciava (come dico) scendere per il detto canale la palla [...].»

Nel secondo descrive lo strumento utilizzato da Galileo per misurare il tempo: l'orologio ad acqua. All'epoca di Galileo non esistevano orologi né cronometri e i metodi disponibili non avevano la precisione necessaria a calcolare il tempo di caduta delle sfere dal piano inclinato.

Inizialmente per misurare il tempo di caduta, Galileo aveva utilizzato il battito del polso:

«il tempo che consumava nello scorrerlo tutto, replicando il medesimo atto molte volte per assicurarsi bene della quantità del tempo, nel quale non si trovava mai differenza né anco della decima parte d'una battuta di polso»

In seguito, poiché si rese conto che occorrevo strumenti che fornissero misurazioni più precise, Galileo progettò e realizzò un orologio ad acqua:

«Quanto poi alla misura del tempo, si teneva una gran secchia piena d'acqua, attaccata in alto, la quale per un sottil cannellino, saldatogli nel fondo, versava un sottil filo d'acqua, che s'andava ricevendo con un piccol bicchiere per tutto 'l tempo che la palla scendeva nel canale e nelle sue parti: le particelle poi dell'acqua, in tal guisa raccolte, s'andavano di volta in volta con esattissima bilancia pesando, dandoci le differenze e proporzioni de i pesi loro le differenze e proporzioni de i tempi; e questo con tal giustezza, che, come ho detto, tali operazioni, molte e molte volte replicate, già mai non differivano d'un notabil momento»

L'orologio ad acqua consentiva dunque di misurare con una bilancia il peso di liquido fluìto nel tempo di discesa attraverso un piccolo tubo. Questa misura permetteva di dedurre quanto tempo fosse trascorso. La visione del video proposto permette di farsi un'idea concreta del suo funzionamento. Notiamo da questo testo e da altri precedenti come per Galileo fosse importante la ripetizione dell'esecuzione dell'esperimento più volte, per essere sicuro che le sue deduzioni delle proprietà quantitative dei fenomeni studiati non fossero imprecise o tratte in modo casuale.

Galileo, essendo anche un buon musicista, batteva facilmente un ritmo mantenendo perfettamente il tempo probabilmente con precisione maggiore di quella con cui un qualsiasi dispositivo ad acqua poteva misurare il tempo. Perciò si presume che prima dell'utilizzo dell'orologio ad acqua, abbia sfruttato questa dote. Alcuni studiosi hanno accertato che aveva disposto sul percorso del piano inclinato delle sbarrette mobili trasversali di budello, del tipo usato nei primi strumenti a corde. Quando la sferetta veniva fatta rotolare giù per il canaletto e passava su una sbarretta, produceva un lieve clic. Galileo correggeva poi la posizione delle sbarrette di budello in modo che una palla liberata nella parte più alta del piano inclinato colpisse le sbarrette con un tempo regolare. Una volta che Galileo, grazie al suo orecchio musicale, aveva individuato le posizioni corrispondenti a intervalli di tempo abbastanza esatti, tutto quel che doveva fare era misurare le distanze fra le sbarrette. Queste diventavano sempre maggiori quanto più la palla acquistava velocità, illustrando la progressione 1, 3, 5, 7, ecc. (ecco perché si chiama legge dei numeri dispari) e permettendogli di comporre l'esperimento più complesso descritto nei Discorsi. Descrivendo le strategie utilizzate da Galileo per misurare il tempo viene sottolineata l'importanza di misure di precisione per giungere a leggi significative.

Un ultimo aspetto che si può sottolineare è quello affrontato nell'attività 2 di tipo sperimentale che riguarda l'analogia tra il moto della pallina sul piano inclinato e del pendolo. Galileo aveva notato che se mettiamo due piani inclinati uno di fronte all'altro e osserviamo una pallina muoversi in modo continuativo avanti e indietro, tale moto ci può suggerire, in effetti, il moto del pendolo. Se osserviamo l'immagine qui riportata, Galileo considerava l'arco come equivalente a un insieme infinito di piani inclinati e studiò anche questo tipo di movimento. Esiste dunque, come abbiamo già constatato, un nesso tra questi due tipi di fenomeni.

Si può infine consultare il sito del museo di Firenze che contiene, oltre che delle immagini del piano inclinato, anche un filmato su di esso:

[Museo Galileo.it - Piano Inclinato](http://catalogo.museogalileo.it/multimedia/Pianoinclinato.html)

<http://catalogo.museogalileo.it/multimedia/Pianoinclinato.html>



Fig. 12: discesa brachistocrona [\[fonte\]](#)

Indicazioni metodologiche

Apprendimento collaborativo nei lavori di gruppo nella fase sperimentale momento in cui gli studenti devono adottare strategie di problem solving o web quest e devono coordinarsi nelle mansioni da svolgere; comunicazione della relazione dell'esperimento del gruppo ai compagni. Ogni gruppo esegue un esperimento diverso: uno effettua le misurazioni sul piano inclinato con palline di diverso peso e volume, uno cambia l'inclinazione del piano, uno verifica la dipendenza dalla forma o dal peso di oggetti in caduta libera, uno sperimenta col pendolo.

Immedesimazione degli studenti nei personaggi storici coinvolti nell'avventura scientifica attraverso l'utilizzo del registro recitativo (scambio di ruoli) e narrativo.

Sollecitazione continua degli studenti da parte dell'insegnante attraverso domande chiave che stimolano il gusto della scoperta.

Spunti per un approfondimento disciplinare

Le tematiche correlate sono quelle relative al moto (vedi percorso didattico *"Il moto: velocità e accelerazione"*) e all'attrito (percorso didattico *"Da uno scivolo non sempre si scivola"*). Inoltre dopo questo percorso si potrebbe continuare nell'anno successivo, nell'ottica della verticalità, con un percorso che mette a tema il moto dei corpi celesti, sempre a partire dalle osservazioni di Galileo (vedi nucleo Terra e Universo).

Spunti per la valutazione

Nella prima attività quando si mostrano le immagini di oggetti in movimento e si domanda cosa si osserva. Ci aspettiamo che emerga la seguente considerazione: maggiore è la forza maggiore è la velocità dell'oggetto, come aveva postulato Aristotele.

Riguardo all'aspetto dell'attrito, sempre nella prima attività, si domanda agli studenti, dopo aver mostrato un filmato di un oggetto che scivola su superfici con attrito ridotto e un oggetto che cade per terra, se è possibile eliminare completamente l'attrito delle superfici e dell'aria.

Spunti per altre attività con gli studenti

Ragionamento e esperimenti di Galileo (Piano inclinato e pendolo) a partire dalla sua ipotesi che il moto causato da una forza è accelerato.

Istruzioni e suggerimenti per progettare e costruire insieme ai ragazzi il piano inclinato. La proposta sotto forma di web quest potrebbe essere così presentata ai ragazzi:

“Devi partecipare a un concorso in cui devi presentare il tuo brevetto e realizzarlo in collaborazione con tre compagni che costituiscono la tua squadra di lavoro”

In alternativa si può prevedere un'uscita didattica al museo di Firenze Galileo dove c'è un laboratorio per studenti.

Documentazione e materiali

[Audio - caduta corpi](#)

[Audio - piano inclinato](#)

[Audio - moto uniforme](#)

[Audio - senza attrito](#)

[Tabella e grafico del periodo al quadrato in funzione della lunghezza della corda](#)

[tratta da Papucci S. (2000). *Manuale per il laboratorio della fisica*, Hoepli, p. 113]

Bibliografia

Einstein A., Infeld L. (1965). *L'evoluzione della Fisica*, Bollati Boringhieri, Torino.

Drake S. (1992). *Galileo Galilei pioniere della scienza. La fisica moderna di Galileo*, Franco Muzzio Editore, p.278.

Grant E. (2001). *Le origini medievali della scienza moderna*, Einaudi, Torino, p. 374.

Papucci S. (2000). *Manuale per il laboratorio della fisica*, Hoepli, p. 122.

Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Editoria, Web design, Multimedia, www.e-text.it

Associazione Euresis (a cura di) (2005). *Sulle spalle dei giganti*, Seed, p. 94.

Sitografia

[Filmati e immagini del museo Galileo di Firenze](http://catalogo.museogalileo.it/multimedia/PianoInclinato.html)

<http://catalogo.museogalileo.it/multimedia/PianoInclinato.html>

[Video - La caduta dei gravi - L'esperimento di Galileo](http://www.youtube.com/watch?v=i-UCK6397_k)

www.youtube.com/watch?v=i-UCK6397_k

[Video - TRB Studios - Il Piano Inclinato e l'Orologio ad Acqua](http://www.youtube.com/watch?v=MlXliNQubWA)

www.youtube.com/watch?v=MlXliNQubWA

[Facciamo i conti con Galileo \(di Tommaso Corridoni\)](http://www.treccani.it/scuola/in_aula/fisica/esperimenti_storici_esperimenti_cruciali/corridoni.html)

www.treccani.it/scuola/in_aula/fisica/esperimenti_storici_esperimenti_cruciali/corridoni.html

[Piano inclinato di Galilei](http://www.ilsitodi.it/laboratoriodifisica/piano_inclinato_galilei/piano_incl_galilei.html)

www.ilsitodi.it/laboratoriodifisica/piano_inclinato_galilei/piano_incl_galilei.html

*Questo percorso didattico è stato realizzato nel 2012 da INDIRE – ANSAS con i fondi del Progetto **PON Educazione Scientifica**, codice **B-10-FSE-2010-4**, cofinanziato dal Fondo Sociale Europeo.*

La grafica, i testi, le immagini e ogni altra informazione disponibile in qualunque formato sono utilizzabili a fini didattici e scientifici, purché non a scopo di lucro e sono protetti ai sensi della normativa in tema di opere dell'ingegno (legge 22 aprile 1941, n. 633).