

BRIASCO ELISA
SSIS CLASSE 059 – A.A. 2006/2007
Didattica della Fisica
Prof. Pilo- Prof. Tuccio

Il moto

Il progetto didattico che segue riguarda il **moto**: l'intento è quello di presentare un progetto che sia accessibile a studenti che non hanno conoscenze scolastiche e nozionistiche dell'argomento e dare risalto sia a quello che interiormente ciascuno ha maturato, anche inconsciamente osservando la realtà circostante, sia a osservazioni dirette e mirate fatte durante il progetto stesso.

Il progetto si suddivide in due fasi: ritengo che, per i requisiti necessari, la prima fase possa essere presentata in classi di seconda media e la seconda fase in terza media.

Come tutti i progetti durante lo sviluppo in classe ogni punto sarebbe messo in discussione a seconda della risposta da parte degli studenti, potrebbe essere necessario ampliare con ulteriori esempi e esercizi alcune parti, tralasciare aspetti troppo difficili o inserire nuovi obiettivi nel caso in cui la classe rispondesse al meglio.

Come insegnante infine, prima di sperimentare in classe le situazioni riportate le proverei io stessa a casa.

Fase 1: moto sul piano orizzontale

Requisiti:

- avere conoscenze in merito al concetto di forza;
- avere conoscenze in merito alla misura e all'errore sperimentale;
- essere consapevole della necessità di indicare ogni grandezza fisica con adeguata unità di misura;
- avere conoscenze in merito alla costruzione di tabelle e grafici;
- avere conoscenze sul concetto di angolo e inclinazione;

Obiettivi educativi:

- avvio alla riflessione critica sulle opinioni proprie e altrui;
- avvio alla capacità di presentare e motivare i propri pensieri;
- iniziare a fare esperienza di lavoro di gruppo;

Obiettivi trasversali:

- diventare maggiormente consapevoli dell'importanza di osservare;
- iniziare a formulare ipotesi in base a riflessioni sul proprio vissuto;
- sviluppare la capacità di utilizzare in modo adeguato strumenti per la determinazione di misure di lunghezza e di tempo;
- diventare maggiormente consapevoli dei limiti e delle attenzioni da porre durante analisi sperimentali;
- avvio alla comprensione dell'importanza delle repliche di rilevazione dei dati;
- avvio alla trattazione dell'errore di misura;
- avvio alla rappresentazione grafica di dati empirici;
- avvio alla comprensione del concetto di media;

Obiettivi disciplinari

- avvio a riflessioni qualitative e quantitative su osservazioni di fenomeni fisici;
- avvio all'utilizzo di un linguaggio specifico;
- consolidamento del concetto di forza;
- avvio alla comprensione del moto come fenomeno dipendente dalle forze;
- avvio alla comprensione del concetto di attrito;
- avvio alla comprensione delle variabili che intervengono nel moto sul piano orizzontale;
- avvio alla comprensione del concetto di velocità e alla sua rappresentazione grafica;
- avvio alla comprensione del concetto della divisione come operatore;

Il punto di partenza è relativo al **moto di oggetti disposti su un piano orizzontale**: si potrebbe iniziare disponendo oggetti di diversa forma e dimensione sul pavimento e incominciare a discutere intorno alla seguente domanda:

“Quando un oggetto, inizialmente in quiete su un piano orizzontale, inizia a muoversi?”

con lo scopo di giungere insieme alla conclusione che, affinché un corpo si sposti dalla quiete, occorre una “spinta” esterna, identificare tale spinta con il termine di “forza” e osservare che la forza è caratterizzata da una intensità che va espressa tramite l'appropriata unità di misura. Si potrebbe quindi chiedere:

“Secondo te, se si colpiscono con la stessa forza due oggetti sul piano che hanno lo stesso peso, è possibile che uno arrivi più distante dell'altro?”

Terminata la discussione, fornire a ogni studente una quantità di pongo e chiedere di dividerlo in due parti uguali, modellare la prima in modo che assomigli a un parallelepipedo e la seconda a forma di sfera e rispondere alle seguenti domande:

“Immaginando di poter spingere con la stessa forza tutte e due gli oggetti creati, pensi che avrebbero lo stesso movimento? Se partissero dallo stesso punto, ritieni che arriverebbero alla stessa distanza? Quale secondo te arriverebbe più distante?”

Si dovrebbe quindi cercare il modo di osservare realmente la situazione ipotizzata: per imprimere a entrambi gli oggetti la stessa forza si potrebbe per esempio disporli lungo una linea e spingerli con una riga tenendo questa con entrambe le mani in modo che sia parallela alla linea degli oggetti.

“Quale dei due è arrivato più distante? Quale caratteristica ha fatto sì che uno arrivasse più distante?”

“Prova a disegnare la situazione osservata: disegna i due oggetti nel punto di partenza colorati di rosso e nel punto di arrivo colorati di verde e segna con una linea il percorso che hanno fatto durante lo spostamento. Secondo te da cosa dipende la direzione seguita dagli oggetti?”

Attraverso tali risposte gli studenti incomincerebbero a dare importanza non soltanto al peso degli oggetti ma anche alla loro forma; si cercherebbe di far osservare che un oggetto muovendosi mantiene gran parte di superficie a contatto con il piano mentre l'altro una parte minima, non si parlerebbe ancora esplicitamente di attrito anche se, a livello intuitivo, si può supporre che gli studenti potrebbero incominciare a tenerlo in considerazione. Inoltre si potrebbe far osservare come la forza non sia caratterizzata solo da un aspetto quantitativo ma anche da una direzione e un verso e può essere rappresentata graficamente tramite vettore.

Si potrebbero poi proporre altre due situazioni e chiedere agli studenti prima di ipotizzare cosa accadrà, osservare quindi lo sviluppo nella realtà e infine riflettere su quanto visto:

- *Modellare entrambi i pezzi di pongo a forma di sfera, disporre sul banco una striscia di materiale ruvido (ad esempio un pezzo di stoffa), porre un oggetto sul banco e uno sulla stoffa e applicare, come fatto precedentemente, la stessa forza.*
- *Creare con quattro pezzi uguali di carta stagnola quattro palline in modo tale che due abbiano la superficie liscia e due la superficie ruvida: disporre sul banco una liscia e una ruvida e sulla stoffa le altre due e applicare a tutte la stessa forza: quale arriva più distante? Quale invece si ferma prima?*

A questo punto si potrebbe verificare se gli studenti hanno compreso quali sono le variabili che intervengono per il moto di un oggetto sul piano orizzontale proponendo i seguenti quesiti:

“Stai per fare una gara a chi fa arrivare più distante un oggetto: hai a disposizione una scatola contenente diversi oggetti, quali sono le caratteristiche che osservi per scegliere il migliore?”

“Il gioco del curling funziona un po’ come il gioco da bocce ma è fatto sul ghiaccio: si lancia un disco e si cerca di farlo arrivare il più vicino possibile a un oggetto di riferimento; perché, secondo te, mentre il disco scivola due giocatori lucidano incessantemente la superficie prima che il disco passi?”

Una volta lette le risposte, l’insegnante potrebbe prendere in considerazione quelle che ritiene maggiormente stimolanti (non necessariamente corrette) per un confronto collettivo e durante questo, se non sono gli alunni a parlarne direttamente, rendere chiara l’influenza dell’attrito sul moto degli oggetti (attrito come forza con stessa direzione della forza applicata e verso contrario) e poi chiedere *“Secondo voi, è possibile che non esista attrito nel movimento di un oggetto sul piano? Un oggetto molto leggero, sferico e liscio viene lanciato con una gran forza (IN REALTA’ SI TRATTA DI IMPULSO) su un piano lucido: che cosa vi aspettate che succeda? Se fosse possibile non avere attrito cosa succederebbe applicando una qualsiasi forza a un qualsiasi oggetto?”* e arrivare quindi a indicare che per modificare lo stato di quiete o di moto di un oggetto deve intervenire una forza e che, in assenza di attrito, un corpo continuerebbe a muoversi senza mai fermarsi; *“Visto che l’attrito è una forza possiamo rappresentarlo come un vettore: proviamo a disegnare un oggetto e il vettore della forza che lo fa muovere; poi rappresentiamo il vettore della forza di attrito che lo fa fermare”*.

Si potrebbe a questo punto introdurre il concetto di velocità e di moto a velocità costante:

“Immaginiamo di avere due macchinine telecomandate: le mettiamo lungo una linea di partenza, le facciamo partire contemporaneamente e, percorrendo due percorsi paralleli, le facciamo arrivare fino a un traguardo che abbiamo fissato. Se una arriva prima dell’altra al traguardo cosa significa?” a partire dalle riflessioni su questa situazione si potrebbe arrivare a definire la velocità come rapporto dello spazio percorso nel tempo e all’unità di misura. Avendo realmente una macchinina telecomandata a disposizione la si potrebbe quindi portare in classe e utilizzare per l’osservazione diretta del moto a velocità costante: *“Come possiamo fare per sapere se la macchinina va a velocità costante? Come possiamo determinare tale velocità?”* si potrebbe quindi individuare nel corridoio della scuola un percorso rettilineo, un punto di partenza e “traguardi” differenti; far partire la macchinina e misurare con un cronometro il tempo impiegato a giungere a ciascuno dei diversi “traguardi”; sarebbe importante nella rilevazione dei dati sottolineare l’errore di misura sia nella rilevazione delle diverse distanze sia in quella del tempo.

In ogni fase dell’analisi della situazione sarebbe quindi necessario soffermarsi per rilevare aspetti importanti delle prove sperimentali:

- per misurare le distanze occorre notare come sia necessario accordarsi sulla definizione di distanza tra due rette e trovare un metodo che permetta di procedere sempre allo stesso modo a ogni misurazione;
- quando si utilizza uno strumento è importante essere consapevoli della sua sensibilità: sarebbe cioè necessario approfondire il concetto di misura e di strumenti di misura sottolineando la differenza tra indicazioni teoriche di misura e dati empirici; osservare il ruolo dell'errore dello strumento a seconda che la misura sia più o meno grande e la rilevanza di ripetizione di una misura; incominciare a considerare il dato non semplicemente come numero ma come informazione e riflettere sul significato di approssimazione del dato.

Gli studenti potrebbero essere divisi in gruppi di tre persone: ogni gruppo, dotato di metro e cronometro, potrebbe rilevare i dati. L'insegnante azionerebbe la macchinina avvertendo al momento della partenza e contemporaneamente ogni gruppo potrebbe rilevare il tempo impiegato dall'oggetto a raggiungere il traguardo: sarebbero quindi confrontate le misurazioni effettuate

“Perché i tempi misurati non coincidono tra i diversi gruppi? Esiste una misura esatta? Come si può fare per minimizzare l'errore di misura sfruttando i diversi valori ottenuti? Quando indichiamo un valore, dato che sappiamo non essere esatto, possiamo indicare di quanto il dato può essere un po' più grande e un po' più piccolo, cioè l'intervallo in cui si trova?”

Occorrerebbe quindi applicare, per la trattazione dell'errore, concetti di tipo matematico quali la media e la rappresentazione grafica: si potrebbero disporre in un grafico a barre i tempi rilevati dai diversi gruppi e riflettere sull'altezza delle diverse barre per incominciare a comprendere come si possa ricavare un valore medio indicativo che approssimi il valore intrinseco della grandezza e stabilire l'intervallo attorno a tale valore medio in cui è probabile che lo stesso valore intrinseco si trovi.

Una volta costruita una tabella con i tempi relativi ai diversi spazi percorsi si potrebbe considerare per ogni coppia di valori la velocità corrispondente *“Poiché ogni misura di tempo e spazio è compresa in un intervallo anche il valore della velocità sarà compreso in un intervallo, come possiamo saper la sua ampiezza?”*: sarebbe perciò trattato l'errore di un valore derivato da altre misure empiriche. Si potrebbe osservare perciò che la velocità è determinata tramite un rapporto e quindi, modificando opportunamente il numeratore e il denominatore, si possono ottenere i valori limite della velocità e quindi determinare il suo valore medio indicativo e l'errore associato. Osservando la tabella potremmo stabilire se la macchinina viaggia a velocità costante; si potrebbe quindi passare alla rappresentazione grafica della tabella ponendo l'attenzione su:

- ruolo assunto da tempo e spazio: considerazioni su variabile dipendente e indipendente;
- rappresentazione grafica del dato e dell'errore associato;
- possibilità di ricavare la retta che meglio mi indichi l'andamento del grafico considerando gli errori di ciascun punto e le rette di massima e minima pendenza;

“Considerando i valori medi del tempo, proviamo a compilare la tabella di una macchina che va a velocità doppia rispetto alla nostra, cioè che impiega la metà del tempo a percorrere i diversi spazi, e riportiamo nello stesso grafico i nuovi valori teorici: cosa possiamo notare sull'inclinazione della retta? Se riportassimo i valori di una macchina che invece va più lenta della nostra cosa ci aspetteremmo?”

A questo punto ogni gruppo potrebbe scegliere un percorso di 5 tappe, misurare le distanze e cronometrare un componente del gruppo da una tappa alla successiva; indicare sia in tabella che in grafico i dati con gli errori *“Da una tappa all'altra la velocità è rimasta la stessa? Quale tappa è stata percorsa a velocità maggiore? Quale più lentamente?”*

Ripetere quindi nuovamente l'esperienza chiedendo a chi percorre le tappe di camminare piano nel primo tratto e sempre un po' più veloce in quelli successivi fino a percorrere l'ultimo tratto di corsa: *“Che aspetto assume il grafico?”* Riflettere quindi sulla differenza del grafico dello spazio percorso in funzione del tempo a seconda che la velocità rimanga costante o vari *“Se a ogni istante successivo la velocità aumenta di un valore stabilito, che aspetto assumerà il grafico?”*

Fase 2: moto su piano inclinato

Requisiti:

- avere adeguatamente consolidato gli obiettivi disciplinari sviluppati nella fase 1 del progetto;
- avere conoscenze in merito al concetto di peso e volume;
- conoscere il concetto di proporzionalità e saperlo applicare;
- aver fatto semplici esperienze manuali di costruzione;

Obiettivi educativi:

- sviluppare la capacità di riflessione critica sulle opinioni proprie e altrui;
- sviluppare la capacità di presentare e motivare i propri pensieri;
- iniziare a fare esperienza di lavoro di gruppo;
- iniziare a capire come la partecipazione attiva di ogni componente del gruppo sia importante;
- iniziare a imparare a assumersi le proprie responsabilità e a rispettare i compagni di lavoro;
- iniziare a capire che il lavorare in gruppo significa rispettare regole individuali e collettive;

Obiettivi trasversali:

- sviluppare la capacità di leggere e interpretare un testo;
- sviluppare la capacità di ipotizzare metodi per replicare un'esperienza descritta da altri;
- sviluppare le capacità manuali di costruzione di strumenti;
- sviluppare la capacità di utilizzare concetti matematici per riflettere su osservazioni empiriche;
- sviluppare la capacità di una corretta generalizzazione;
- sviluppare la capacità di utilizzare in modo adeguato strumenti per la determinazione di misure di lunghezza e di tempo;
- consolidare la consapevolezza dell'importanza delle repliche di rilevazione dei dati;
- sviluppare la capacità di trattazione dell'errore di misura;
- sviluppare la capacità di rappresentare graficamente dati empirici;

Obiettivi disciplinari

- avvio alla comprensione del concetto di accelerazione;
- sviluppo della capacità di capire da un grafico dello spazio in funzione del tempo se esiste accelerazione;
- sviluppo della capacità di osservare il tipo di accelerazione in grafici della velocità in funzione del tempo;
- avvio alla comprensione delle variabili che influenzano l'accelerazione;
- consolidare la trattazione dell'errore sperimentale;
- sviluppo della capacità di utilizzo del linguaggio specifico;
- consolidare il concetto di attrito;

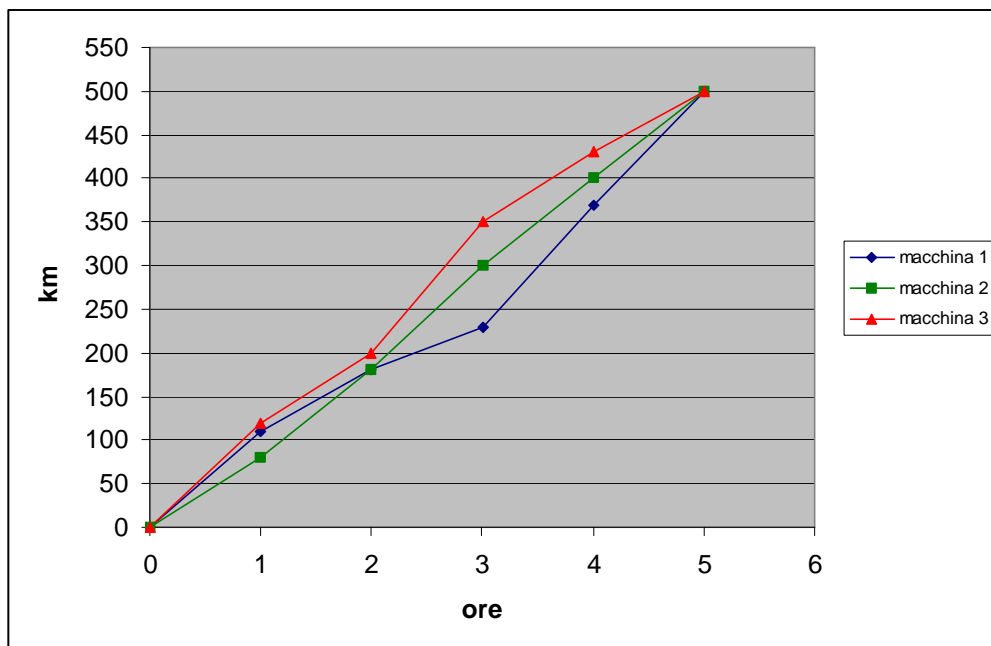
Si potrebbe iniziare ricordando quanto appreso nella fase precedente: le variabili che intervengono nel moto di un oggetto su piano orizzontale, il ruolo dell'attrito e l'ipotetico moto che un corpo avrebbe in assenza di questa forza. Si potrebbe proporre la seguente scheda:

- 1) Un tuo amico ha deciso di scoprire a che velocità va la sua macchinina preferita e ti descrive il modo in cui ha pensato di determinare tale valore:

“Ho pensato che farò andare la macchinina da un lato all’altro della mia stanza e con un cronometro misurerò il tempo che impiega a percorrere il tratto; poi misurerò la distanza percorsa e, dividendo tale valore per quello del tempo, troverò esattamente la velocità a cui va la mia macchinina su tutti i terreni orizzontali.”

- rifletti sul modo di procedere del tuo amico: che consigli gli daresti per migliorare il suo metodo di indagine?
- in che relazione bisogna porre lo spazio percorso e il tempo impiegato per determinare la velocità?
- secondo te, se il tuo amico ripetesse l’esperienza su un prato di cosa si accorgerebbe?

- 2) Il seguente grafico rappresenta come tre macchine hanno percorso un uguale tragitto lungo 500 km:



- Quale macchina è andata più veloce nella prima ora di viaggio?
- In quale ora di viaggio la macchina 3 è andata più veloce?
- Secondo te quale delle tre macchine ha mantenuto maggiormente costante la velocità durante il viaggio?
- Quale è stata la velocità della macchina 3 nella terza ora di viaggio?

Una volta corretta e discussa la scheda, si potrebbe proporre il seguente quesito:

“Immaginate un oggetto che si muove lungo un piano inclinato: secondo voi, durante il suo moto, continua a mantenere la stessa velocità?”: si favorirebbe quindi una discussione basata sulle conoscenze e sulle considerazioni degli studenti in base alla rielaborazione di quanto vissuto e osservato quotidianamente.

A questo punto si potrebbe presentare l'esperienza fatta da Galileo facendo prima un preambolo sul momento storico in cui è vissuto e sull'importanza da lui attribuita all'indagine sperimentale; si potrebbe quindi leggere il brano tratto da “Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai movimenti locali” in cui Galileo descrive come intende impostare l'esperienza:

«In un regolo, o vogliàn dir corrente, di legno, lungo circa dodici braccia, e largo per un verso mezzo 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»

“Come mai, secondo voi, Galileo precisa il fatto di rendere pulito e liscio sia il piano sia l'oggetto che vi scorre? Quale variabile vuole rendere trascurabile? Perché sceglie come oggetto una palla?”

«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, notando, nel modo che appresso dirò, 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 nè anche della decima parte d'una battuta di polso.

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 . . . »

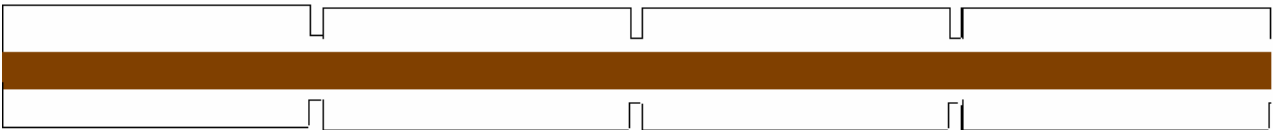
“Galileo sottolinea il fatto di avere replicato molte volte la misura del tempo di percorrenza del piano inclinato: per quale motivo secondo voi dà tanta importanza a questo aspetto dell'esperienza?”: si potrebbe quindi tornare a ribadire l'errore di misura e il metodo, già utilizzato nella fase precedente, per cercare di minimizzarlo. A questo punto si potrebbe proporre agli studenti di ripetere l'esperienza di Galileo per arrivare a scrivere la parte finale del testo con le conclusioni che sono state omesse.

La classe sarebbe quindi suddivisa in gruppi di tre- quattro persone e ciascun gruppo proverebbe autonomamente l'esperienza: a seconda del livello della classe si potrebbe lasciare a ciascun gruppo la progettazione di come costruire il piano inclinato e fornire il materiale richiesto oppure si

potrebbe presentare un progetto standard per tutti; in ogni caso sarebbe fatto notare che lo strumento di Galileo era molto lungo “*Come mai è meglio utilizzare un piano lungo? Cosa cambia nella determinazione della misura e dell’errore associato?*”

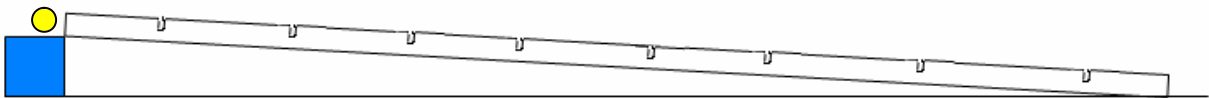
Un possibile piano inclinato potrebbe essere costruito in questo modo:

- dividere a metà (lungo il lato più corto) cinque cartoncini bristol;
- unire con lo scotch i dieci pezzi in modo da formare un foglio molto lungo;
- lungo la parte centrale del foglio far scorrere una striscia di scotch da pacchi;
- ogni 40 cm sui lati più lunghi del foglio segnare un segmento di 1 cm;
- “dentellare” il foglio in corrispondenza dei segmenti rientrando per 3 cm verso l’interno del foglio;



- piegare il foglio in modo che assuma l’aspetto di un cilindro e fissarlo con lo scotch

Nel testo Galileo non indica l’inclinazione da dare al piano: per facilitare le fasi iniziali di rilevamento dati l’insegnante potrebbe suggerire agli studenti (senza però esplicitarne il motivo) di posizionare il piano a una altezza ridotta, per esempio utilizzare un supporto come il tetrapak di un succo di frutta disposto in modo che abbia l’altezza minima e fissare il cilindro



Si potrebbe pensare di utilizzare per la misurazione del tempo strumenti costruiti da ciascun gruppo traendo spunto dal testo di Galileo:

« 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 passa scendeva nel canale e nelle sue parti: se particelle poi dell’acqua, in tal guisa raccolte, s’andavano di volta in volta con esatissima 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 volte replicate, già mai non differivano d’un notabil momento. »

Nel caso in cui gli studenti non avessero idee su come creare tale strumento, l’insegnante potrebbe proporre di utilizzare per esempio delle fleboclisi e, nel caso in cui non fosse a disposizione una bilancia, contenitori graduati in cui far riversare l’acqua.

Avendo gli strumenti necessari si potrebbe quindi decidere come procedere: un componente del gruppo, ad esempio, potrebbe far partire l’oggetto (ad esempio una biglia) mentre altri due sarebbero disposti l’uno in corrispondenza della prima apertura dello strumento, l’altro in corrispondenza dell’ultima. Il componente che fa partire l’oggetto potrebbe tenere chiusa con un

dito la fleboclisi, alla segnalazione del passaggio della biglia dalla prima apertura iniziare a far fluire l'acqua all'interno del contenitore graduato e interrompere lo scorrimento alla seconda segnalazione.

Ogni gruppo procederebbe quindi alla rilevazione dei dati replicando più volte la determinazione e calcolando quindi il valore medio della capacità raggiunta e l'errore associato: nel testo Galileo riporta di aver confrontato il tempo impiegato per percorrere una certa distanza rispetto al tempo impiegato a percorrere la quarta parte di quella distanza, gli studenti dovrebbero quindi costruire una tabella del tipo:

Spazio percorso n	errore	ml di acqua fluita mentre la sfera percorre lo spazio $n/4$	errore	ml di acqua fluita mentre la sfera percorre lo spazio n	errore

“Quale rapporto di proporzionalità esiste tra i valori sulla stessa riga? In quale rapporto di proporzionalità stanno i corrispondenti spazi percorsi?”

Si chiederebbe quindi di indagare sul rapporto esistente tra le varie coppie di tempi osservando anche per ogni coppia il grafico dello spazio in funzione dei millimetri di acqua fluiti: ciascun gruppo, in base alle proprie riflessioni, sarebbe invitato a completare il testo di Galileo e poi a leggere quanto scritto alla classe; si arriverebbe quindi tramite discussione comune alla condivisione del fatto che i millimetri di acqua fluita mentre la pallina percorre uno spazio n sono doppi rispetto a quelli fluiti nel percorso $n/4$ e quindi il tempo impiegato a percorrere uno certo spazio è doppio rispetto a quello impiegato a percorrere la quarta parte dello stesso spazio.

Tornare quindi al testo di Galileo:

« 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'astro: e facendo poi l'esperienze di altre parti, esaminando ora il tempo di tutta la lunghezza col tempo della metà, e con quello dell' due terzi e de i tre quarti, e 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.>>

Riflettendo sul testo si arriverebbe quindi a concludere che le distanze percorse dalla pallina sono direttamente proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati.

Ripetendo la rilevazione dei dati per ogni spazio in cui è stato suddiviso il piano inclinato si potrebbe quindi costruire un grafico della spazio percorso in funzione dei millimetri di acqua fluita prestando attenzione alla trattazione degli errori: a questo punto si dovrebbe ragionare sul fatto che tale grafico indica in che modo varia la velocità dell'oggetto nel tempo.

“Abbiamo perciò notato che in ogni istante successivo di tempo la velocità varia: come possiamo fare per sapere come varia la velocità nel tempo? E se volessimo osservare graficamente come varia la velocità nel tempo come potremmo fare?” Si arriverebbe quindi alla considerazione del concetto di accelerazione e alla costruzione del grafico della velocità in funzione del tempo, anche in questo caso sottolineando quale sia l'unità di misura della nuova grandezza e come si arrivi empiricamente solo a un valore medio a cui associare un errore.

“Osservando il grafico della velocità in funzione del tempo, cosa possiamo dire rispetto alla variazione della accelerazione nel tempo? Secondo voi, se provassimo a costruire lo stesso tipo di grafico relativo alla partenza di una macchina dal semaforo otterremmo lo stesso andamento?” Si arriverebbe perciò alla definizione di moto uniformemente accelerato.

A questo punto si potrebbe domandare: *“Secondo voi se usiamo una pallina più leggera otteniamo gli stessi risultati? Il peso dell'oggetto influisce cioè sulla velocità e sulla accelerazione nel moto lungo il piano inclinato?”* Dopo avere lasciato discutere e argomentare le varie ipotesi si inviterebbero i gruppi a scegliere una pallina a piacere, misurarne diametro e peso e quindi ripetere l'esperienza precedente. Terminata l'esperienza si confronterebbero i grafici dei diversi gruppi e si completerebbe la seguente tabella:

Spazio	Millilitri di acqua fluita							
	Gruppo 1		Gruppo 2		Gruppo 3		Gruppo 4	
	Diametro:....	Peso:....	Diametro:....	Peso:....	Diametro:....	Peso:....	Diametro:....	Peso:....
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Si confermerebbe quindi quanto già osservato nell'esperienza precedente e cioè che la velocità media aumenta in modo direttamente proporzionale al tempo impiegato mentre l'accelerazione media, nell'ambito degli errori sperimentali, è costante e inoltre si smentirebbe l'idea comune che l'accelerazione dipenda dalla massa o dal diametro dell'oggetto.

“Abbiamo perciò verificato che l'accelerazione media non varia a seconda delle caratteristiche della pallina, secondo voi l'accelerazione potrebbe invece variare a seconda di una caratteristica

del piano inclinato? Cosa possiamo cambiare di ciascun piano inclinato? Proviamo a rileggere la parte finale del testo di Galileo: secondo voi l'autore intende dire che l'accelerazione non varia a seconda dell'inclinazione del piano o che non varia il rapporto di proporzionalità tra le varie velocità?": l'esperienza sarebbe relativa all'osservazione di come varia l'accelerazione media in funzione dell'altezza del piano inclinato.

Ogni gruppo aumenterebbe via via di una altezza costante il supporto a cui è fissato il piano inclinato e a ogni nuova altezza determinerebbe l'accelerazione media: in questa esperienza sarebbero usati i cronometri; sperimentalmente ci si accorgerebbe che la pallina a un certo punto inizia a percorrere il piano così velocemente da non permettere una facile rilevazione del tempo da parte degli operatori: questo farebbe già capire che l'accelerazione è funzione dell'altezza del piano inclinato ma per osservare la proporzionalità tra queste variabili sarebbe necessario riportare su un grafico l'accelerazione in funzione dell'altezza.

“Quale sarà il caso limite in cui l'accelerazione diventerà massima? Con che cosa coinciderà l'altezza in questo caso limite?”

“Potremmo generalizzare i valori delle accelerazioni medie osservati alle diverse altezze per tutti i tipi di piano inclinato?": si potrebbe posizionare come paragone una riga alla stessa altezza del piano inclinato “L'accelerazione media su questi due piani inclinati, secondo voi, è la stessa?": si porrebbe quindi l'attenzione sul fatto che volendo stabilire accelerazioni medie che siano generalizzabili a tutti i piani inclinati (costruiti secondo il modello di Galileo) occorre considerare l'inclinazione rispetto al terreno, cioè misurare l'ampiezza dell'angolo alla base. A questo punto si potrebbe andare a misurare con il goniometro l'angolo di inclinazione delle differenti altezze e costruire un grafico dell'accelerazione in funzione dell'angolo.

Si potrebbe a questo punto far notare come il caso limite del piano disposto perpendicolarmente al terreno coincida con la caduta libera di un oggetto nell'aria: *“Se ricordate Galileo nel presentare la sua esperienza sottolinea il fatto di voler ridurre al minimo l'attrito: nel caso limite del piano inclinato a 90° rispetto al terreno potremmo quindi eliminare completamente l'azione dell'attrito lasciando semplicemente cadere l'oggetto senza porre il piano inclinato: siete d'accordo con questa ipotesi?”* : sarebbe quindi lasciata libera la discussione e si lascerebbe aperta la domanda.

“Abbiamo visto durante una delle esperienze precedenti che il moto dell'oggetto non dipende dal suo peso ma solo, se non consideriamo l'attrito, dall'inclinazione del piano. Facciamo finta allora di prendere due oggetti, uno molto pesante e uno molto leggero, e di farli cadere verticalmente da una stessa altezza, eliminiamo quindi la presenza del piano inclinato per evitare completamente l'attrito che questo determina: in base alla nostra ipotesi i due oggetti hanno lo stesso tipo di moto, perciò arrivano contemporaneamente a terra, secondo voi questo è vero?”

Si inviterebbe perciò ogni studente a fare sperimentalmente quanto descritto utilizzando oggetti presenti in aula: nel caso in cui nessun studente prendesse un oggetto quel un foglio di carta, un sacchetto, un fazzoletto,... sarebbe l'insegnante stessa a fare la prova considerando uno di questi oggetti.

“Quali conclusioni possiamo trarre da questa esperienza?”

Quello che probabilmente gli studenti concluderebbero è che quasi tutti gli oggetti quando cadono dalla stessa altezza raggiungono contemporaneamente il terreno, tranne quelli molto leggeri: quindi il moto tornerebbe a essere funzione del peso.

Si potrebbe poi far prendere due pezzi di carta identici di cui uno appallottolato: *“Il loro peso è identico, perciò, per la nostra teoria, cadendo dalla stessa altezza dovrebbero raggiungere contemporaneamente il terreno.”*

Con la prova si verificherebbe che così non è: *“Proviamo a far cadere un pezzetto di carta appallottolata e l’astuccio dalla stessa altezza: cosa ci aspettiamo? Cosa osserviamo?”*
“Apriamo ora il pezzetto di carta e facciamolo tornare piano, ripetiamo il lancio con l’astuccio: cosa ci aspettiamo? Cosa osserviamo?”

A questo punto si potrebbe ricordare l’ipotesi fatta quando si è eliminato il piano di scorrimento e cioè l’eliminazione dell’azione dell’attrito sul moto: si potrebbe quindi arrivare a concludere che l’attrito non è solo determinato dal piano di scorrimento ma anche dal mezzo in cui l’oggetto si muove perciò, in questo caso dall’aria e che l’azione di tale attrito non dipende dal peso ma dalla forma dell’oggetto. Per verificare ulteriormente il ruolo del mezzo in cui si muove l’oggetto si potrebbe misurare il tempo di caduta di un oggetto all’interno di tre contenitori identici di cui uno vuoto, uno riempito di acqua e uno riempito di olio; con questo esperimento ci si potrebbe poi collegare al concetto di densità.