

REGIONE  
TOSCANA



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

# **Laboratori del Sapere Scientifico**

# *Da Aristotele alla visione scientifica galileiana*

*Un confronto tra la “fisica” aristotelica e i principi della dinamica*

Percorso di apprendimento  
per una classe terza Liceo Scientifico

*I.S.I.S. Gramsci-Keynes*

## Collocazione del percorso effettuato nel curriculum verticale

Il percorso effettuato si colloca in un progetto didattico più ampio, realizzabile nell'arco del triennio liceale e pensato in linea con quanto stabilito nel *Regolamento Licei* dove si evidenzia che gli studenti, a conclusione del percorso di studio, oltre a raggiungere i risultati di apprendimento comuni, dovranno “comprendere i nodi fondamentali dello sviluppo del pensiero, anche in dimensione storica, e i nessi tra i metodi di conoscenza propri della matematica e delle scienze sperimentali e quelli propri dell'indagine di tipo umanistico” ( *Regolamento Licei, Allegato A, pag.11*).

Nel progetto didattico triennale sono stati individuati alcuni nodi fondamentali dello sviluppo del pensiero da trattare in un'ottica interdisciplinare proprio per evidenziare i nessi tra i metodi di conoscenza delle scienze sperimentali e quelli peculiari dell'indagine filosofica.

# Collocazione del percorso effettuato nel curriculum verticale

I tre nodi individuati si caratterizzano come forti cesure tra due visioni del mondo e/o due concezioni della scienza e sono:

- 1) l'elaborazione del metodo scientifico di Galilei in antitesi con il metodo d'indagine aristotelico (classe terza);
- 2) termodinamica e direzione spontanea delle trasformazioni in relazione al concetto di reversibilità e irreversibilità del tempo in filosofia (classe quarta);
- 3) percorso storico che conduce ai postulati della relatività ristretta attraverso l'esperimento di Michelson e Morley in relazione alla messa in crisi del concetto di verità (classe quinta).

## Collocazione del percorso effettuato nel curricolo verticale

Il percorso effettuato si colloca in una classe terza Liceo Scientifico nella prima parte dell'anno scolastico e prevede una forte interazione tra le discipline di Filosofia e di Fisica.

Mette in luce la rottura tra la visione aristotelica dell'indagine sulla natura e l'elaborazione del metodo scientifico di Galilei, individuando le caratteristiche antitetiche delle due diverse visioni del mondo.

È propedeutico all'introduzione della dinamica e all'esplicitazione del valore epistemologico della riflessione scientifica di Galilei.

Ha coinvolto due classi terze e quattro docenti (due docenti di Storia e Filosofia e due docenti di Matematica e Fisica).

# Obiettivi essenziali di apprendimento

Il Percorso si propone di raggiungere i seguenti obiettivi:

- 1) Lo studente acquisirà consapevolezza del valore culturale delle discipline coinvolte e della loro evoluzione storica ed epistemologica.
- 2) Lo studente acquisirà consapevolezza dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali e costruzione/validazione di modelli.
- 3) Lo studente avrà compreso gli elementi caratterizzanti un nodo fondamentale dello sviluppo del pensiero nella sua dimensione storica e avrà individuato i nessi tra i metodi di conoscenza propri della matematica e delle scienze sperimentali e quelli propri dell'indagine di tipo umanistico.

# Elementi salienti dell'approccio metodologico

Si è privilegiata una lettura antitetica dello sviluppo del metodo scientifico galileiano in relazione alla tradizione del pensiero classico prendendo in considerazione il concetto-chiave del movimento secondo lo schema seguente:

1. costruzione *in fieri* di un linguaggio “operativo” condiviso tra i docenti delle due diverse discipline;
2. individuazione delle caratteristiche del movimento per Aristotele evidenziandone i concetti con l'uso di una terminologia matematica, scegliendo un passo tratto dalla *Fisica*, analizzandolo e formalizzandolo (lezioni in compresenza);
3. mettere in luce le caratteristiche della visione della scienza di Aristotele come indagine razionale della natura;

## Elementi salienti dell'approccio metodologico

4. elaborazione di un esperimento finalizzato a verificare l'ipotesi aristotelica secondo cui la velocità che un oggetto assume è direttamente proporzionale alla forza ad esso applicata;
5. discussione su alternative possibili e formulazione di ipotesi nuove che possano descrivere la relazione tra forza e movimento;
6. ipotesi e verifica della proporzionalità tra accelerazione e forza applicata ad un oggetto con un opportuno esperimento;
7. riflessione sul metodo applicato ed enucleazione delle sue caratteristiche: passaggio dall'osservazione «ingenua» alla «sensata esperienza» e ruolo centrale e innovativo dell'interpretazione matematica dell'universo di Galileo.

# Prerequisiti

## In Fisica:

- Cinematica del punto materiale: in particolare le formule dei moti rettilineo uniformemente accelerato e rettilineo uniforme.
- Vettori ed equilibrio di un punto materiale.
- Velocità media e accelerazione media.

## In Filosofia:

- Trattazione dell'origine e dello sviluppo della disciplina come indagine razionale sugli eventi naturali (Ionici, Democrito e Parmenide) propedeutici alla metafisica di Aristotele intesa come scienza dell'essere in quanto è.

# Materiali, ambienti e tempi

**Materiali impiegati:** libro di testo, dispense fornite dall'insegnante, fotocopie delle letture, rotaia a cuscino d'aria.

**Ambiente** in cui è stato sviluppato il percorso: aula, laboratorio di Fisica.

**Tempo impiegato:**

- a) messa a punto preliminare nel Gruppo LSS: 10 ore;
- b) progettazione specifica e dettagliata nella classe: 10 ore (raccordo programmi di Fisica e Filosofia, ricerca testi adeguati allo scopo, scelta autori da trattare sulla base degli obiettivi prefissati, documentazione pedagogico-metodologica);
- c) tempo-scuola di sviluppo del percorso: 12 ore (dalla seconda metà di ottobre a novembre);
- d) documentazione del Percorso: 20 ore.

# Il movimento in Aristotele

Partendo dalla seguente osservazione:

«Poiché la natura è principio di movimento e di cambiamento, e la nostra ricerca ha per oggetto la natura, non dobbiamo ignorare che cos'è il movimento. Se ignoriamo questo, infatti, anche la natura rimarrà per noi necessariamente sconosciuta»

(Arist., *Phys.*, III, 1, 200 b 12-15)

si evince che la conoscenza della natura, per Aristotele, è indissolubilmente legata alla comprensione del concetto di movimento.

La disciplina che si occupa della conoscenza della natura è la filosofia seconda (o Fisica) che indaga, appunto, il movimento.

Nella classificazione delle scienze teoretiche per Aristotele però la filosofia seconda è preceduta dalla filosofia prima, poi successivamente chiamata Metafisica, che si occupa dell'essere in generale, della sua definizione e del suo statuto ontologico. Per quale motivo?

L'intento generale di Aristotele è quello di spiegare non solo come il mondo risulti costituito, ma perché esso risulti costituito proprio così e non possa essere in altra maniera.

Quindi la ricerca delle cause nella natura deve essere un'indagine razionale che determini principi formali e universalmente applicabili.

Per Aristotele la realtà sensibile e quindi la natura hanno una struttura ilemorfica, cioè sono costituite da materia e forma.

Solo la materia può trasformarsi e quindi muoversi perché la forma rimane astratta e immobile.

Viene introdotta quindi la definizione di movimento come:

*atto o attuazione di ciò che è in potenza in quanto tale.*

Cioè, in altri termini e dal punto di vista dell'essenza, è il passaggio (la realizzazione) dall'essere in potenza all'essere in atto.

Si cerca poi di individuarne lo statuto ontologico e di determinare i tipi di movimento:

a) movimento **sostanziale**: la generazione e la corruzione in relazione alla *sostanza* dell'essere (il legno che brucia e diventa cenere),

b) movimento **qualitativo**: l'alterazione o mutamento in relazione alla *qualità* dell'essere (il passaggio da un colore ad un altro),

c) movimento **quantitativo**: l'aumento e la diminuzione in relazione alla *quantità* dell'essere (un aumento o una diminuzione di peso),

d) movimento **locale**: la traslazione in relazione al luogo dell'essere (cioè il moto propriamente detto).

Il movimento definito come locale, o traslazione, presuppone la nozione di “*luogo naturale*” poichè i quattro elementi che compongono la realtà (fuoco, aria, acqua, terra) tendono al loro corrispondente luogo “per natura”.

La terra, infatti, è l'elemento freddo e secco che tende verso il basso, il fuoco è caldo e secco e tende verso l'alto, l'acqua è fredda e umida e tende verso il basso, l'aria è calda e secca e tende verso l'alto.

Questo, inoltre, porta a determinare una differenza fondamentale tra moti naturali e moti violenti, quest'ultimi soggetti ad un'azione da parte di qualcuno.

Viene posta una domanda da parte di uno studente che chiede se vi sia differenza tra movimento e moto, per Aristotele, visto che nelle spiegazioni precedenti i due termini sono stati usati indifferentemente.

Si cerca di identificare con precisione l'uso dei due diversi termini richiamandone l'uso in Fisica e in Filosofia e si constata che il primo, spesso, venga usato quando si parla del “fenomeno” del movimento in generale, mentre il secondo si attribuisce nelle definizioni più specifiche.

In modo accidentale e del tutto spontaneo quindi si configura nella classe un problema già emerso nel gruppo dei docenti in fase di elaborazione del Percorso: l'attribuzione di un significato univoco ad un termine che viene usato in accezioni diverse nelle due differenti discipline.

Per comprendere cosa effettivamente Aristotele intendesse dire con l'espressione «un corpo si muove poiché è soggetto all'azione da parte di qualcuno» viene proposta l'analisi del brano contenuto nel settimo libro della *Fisica*.

Trascrizione del brano tratto da Aristotele, *Fisica*, VII (H), 5, 249 b - 250 a.

*<< Poichè il motore muove sempre qualcosa e attua il suo movimento in qualcosa e fino a qualcosa (dico "in qualcosa" in quanto esso muove nel tempo, e "fino a qualcosa" in quanto esso muove secondo una lunghezza di una certa quantità: sempre, simultaneamente il motore muove ed ha compiuto il movimento, sicchè il movimento si attuerà secondo una certa quantità e in una certa quantità), si avrà la seguente dimostrazione.*

*Sia A il motore, B il mosso, G la lunghezza percorsa, D il tempo in cui si attua il movimento. In un tempo uguale la forza uguale A muoverà la metà di B per il doppio di G, e muoverà G nella metà di D: tale infatti, sarà la proporzione.*

*E, inoltre, se la stessa forza muoverà lo stesso oggetto in questo tempo qui secondo tanta lunghezza, e lo muoverà secondo la metà della lunghezza nella metà del tempo, anche la metà della forza muoverà parimenti la metà dell'oggetto in uguale tempo secondo una lunghezza uguale. Ad esempio, sia E la metà della forza A, e Z la metà dell'oggetto B: le cose staranno allo stesso modo, e la forza starà nella medesima proporzione con il peso, sicché attueranno il movimento secondo una grandezza uguale in un tempo uguale.*

*E se E muove Z nel tempo D secondo la lunghezza G , non necessariamente in ugual tempo la forza E muoverà il doppio di Z lungo la metà di G . Se, poi, A muoverà B nel tempo D secondo la grandezza G, la metà di A, cioè E, non muoverà B nel tempo D né in una parte del tempo D secondo una parte della lunghezza G che sia rispetto all'intero G nella stessa proporzione in cui è la forza A rispetto alla forza E: se, insomma si desse questo caso, non vi sarebbe movimento secondo nessuna parte della lunghezza: difatti, se l'intera forza ha attuato il movimento secondo tanta quantità di lunghezza, la metà di essa non attuerà il movimento secondo altrettante quantità nè in un tempo qualsivoglia: se fosse altrimenti, un uomo solo muoverebbe la nave, qualora venissero numericamente divise la forza di quelli che la tirano a secco e la lunghezza secondo cui tutti la muovono. >>*

La lettura della prima parte appare abbastanza oscura agli alunni e viene pertanto analizzata con l'aiuto di entrambi gli insegnanti.

*In primis* ci si sofferma sulle parole utilizzate da Aristotele e si cerca di trasportarle nel linguaggio della fisica. Questo, oltre a permettere una miglior comprensione del testo, aiuta anche a formalizzare in linguaggio matematico quello che viene espresso dal filosofo.

A = motore = FORZA

B = mosso = CORPO = massa

G = lunghezza percorsa =  $\Delta s = s_f - s_i$

D = tempo =  $\Delta t$

Così facendo la frase

« Sia A il motore, B il mosso, G la lunghezza percorsa, D il tempo in cui si attua il movimento »

può essere rappresentata in questo modo.



La trasposizione dei termini usati da Aristotele nel linguaggio specifico della fisica e la corrispondente rappresentazione grafica hanno comportato un lungo lavoro:

- 1) è stato complesso comprendere quali concetti fisici venissero espressi dai termini aristotelici;
- 2) a tali concetti aristotelici è stata attribuita una notazione univoca che facesse riferimento alle conoscenze pregresse e familiari degli studenti;
- 3) la rappresentazione grafica è stata necessaria per comprendere la complessità dei passaggi enunciati un modo narrativo;
- 4) ogni elemento della rappresentazione grafica è stato inserito solo in seguito ad una ulteriore analisi del testo ad esso riferito.

Tale lavoro ha richiesto un notevole sforzo per trovare un accordo sull'uso dei termini da impiegare in entrambe le discipline, poiché ciascun termine doveva essere univocamente determinato e coerente con le teorie afferenti a ciascuna materia. Questa è una delle specificità di questo Percorso che tenta di raccordare le due discipline su temi condivisi.

Il lavoro precedentemente descritto ha comportato negli alunni un processo di affinamento concettuale di notevole importanza.

In alcuni alunni è emersa la difficoltà di tenere insieme i vari registri linguistico-semantici: linguaggio ordinario, concettuale, grafico, simbolico.

Si è reso necessario riprendere più volte sia la lettura della prima parte del brano sia le successive formalizzazioni.

Tale lavoro ha però premiato nel medio periodo richiamando l'esigenza in gran parte degli studenti a determinare un uso univoco e coerente dei termini impiegati.

Si riprende l'analisi del brano.

• La frase successiva afferma che:

«In un tempo uguale la forza uguale  $A$  muoverà la metà di  $B$  per il doppio di  $G$ , e muoverà  $G$  nella metà di  $D$ : tale infatti, sarà la proporzione.»

La rappresentazione grafica che le viene associata è la seguente



Viene chiesto agli studenti di esplicitare la proporzione di cui parla Aristotele in termini matematici, e quello che si ottiene è che il prodotto tra massa e spazio percorso rimane costante, quindi viene impostata l'uguaglianza

$$A \cdot D = B \cdot G$$

- Si verifica poi se l'uguaglianza trovata continui ad essere valida anche per la frase successiva

*«E, inoltre, se la stessa forza muoverà lo stesso oggetto in questo tempo qui secondo tanta lunghezza, e lo muoverà secondo la metà della lunghezza nella metà del tempo, anche la metà della forza muoverà parimenti la metà dell'oggetto in uguale tempo secondo una lunghezza uguale. Ad esempio, sia E la metà della forza A, e Z la metà dell'oggetto B: le cose staranno allo stesso modo, e la forza starà nella medesima proporzione con il peso, sicché attueranno il movimento secondo una grandezza uguale in un tempo uguale.»*

$$\frac{1}{2}A \cdot D = \frac{1}{2}B \cdot G \quad \rightarrow \quad A \cdot D = B \cdot G$$

Sostituiamo adesso le lettere usate nel testo con la notazione normalmente utilizzata in fisica

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta s \quad \rightarrow \quad F = m \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \rightarrow \quad \mathbf{F = m \cdot v}$$

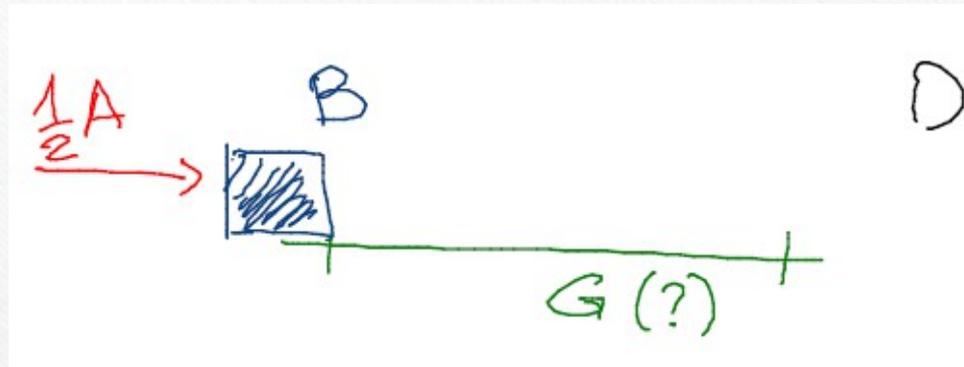
Si ricava dunque che, per Aristotele, la forza impressa ad un oggetto è direttamente proporzionale alla velocità che l'oggetto acquisisce. Inoltre la costante di proporzionalità è la massa dell'oggetto.

A questo punto abbiamo definito la relazione tra forza e velocità, ma rimane da analizzare l'ultima parte del brano:

*<<E se E muove Z nel tempo D secondo la lunghezza G , non necessariamente in ugual tempo la forza E muoverà il doppio di Z lungo la metà di G . Se, poi, A muoverà B nel tempo D secondo la grandezza G, la metà di A, cioè E, non muoverà B nel tempo D né in una parte del tempo D secondo una parte della lunghezza G che sia rispetto all'intero G nella stessa proporzione in cui è la forza A rispetto alla forza E: se, insomma si desse questo caso, non vi sarebbe movimento secondo nessuna parte della lunghezza: difatti, se l'intera forza ha attuato il movimento secondo tanta quantità di lunghezza, la metà di essa non attuerà il movimento secondo altrettante quantità nè in un tempo qualsivoglia: se fosse altrimenti, un uomo solo muoverebbe la nave, qualora venissero numericamente divise la forza di quelli che la tirano a secco e la lunghezza secondo cui tutti la muovono>>*

Viene chiesto agli studenti di analizzare il passaggio alla luce di quanto detto fino a questo momento e di provare ad applicare le formule così come le abbiamo applicate in precedenza.

- La rappresentazione grafica ottenuta è la seguente



Ma applicando a questa rappresentazione lo stesso modo di ragionare e prendendo per buona la relazione trovata in precedenza si ottiene

$$A \cdot D = B \cdot G \quad \rightarrow \quad G = \frac{A \cdot D}{B}$$

Da cui, dimezzando A

$$\frac{1}{2}A \cdot D = B \cdot X \quad \rightarrow \quad X = \frac{1}{2} \cdot \frac{A \cdot D}{B} = \frac{1}{2} G$$

Lo spazio percorso dovrebbe essere la metà.

Perché Aristotele afferma che non si possa ottenere uno spazio proporzionale alla forza applicata nel caso in cui sia solo la forza a dimezzarsi e non la massa?

A questo punto si deve fare chiarezza sulla visione aristotelica del movimento e ci si deve soffermare sulla subordinazione della Fisica alla Metafisica.

Per Aristotele la «forza» ha una realtà diversa rispetto alla «massa» e alla «lunghezza», realtà che le impedisce d'essere divisa in parti.

Se il movimento è attuazione di ciò che è in potenza, tale attuazione non può essere suddivisa in quanto non è possibile determinare in alcun modo tale suddivisione.

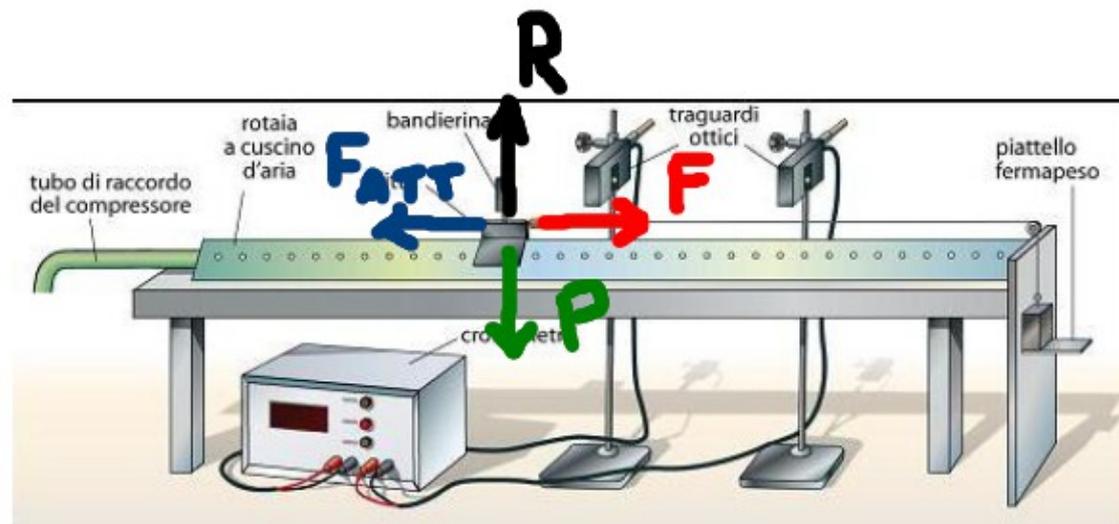
La visione qualitativa della realtà per Aristotele si basava sul presupposto che in «un determinato fenomeno» fosse importante individuare il «perché», non il «come» e ribadisce la subordinazione della Fisica alla Metafisica.

# Verifica sperimentale delle leggi aristoteliche

In questa lezione in compresenza si vuole realizzare un esperimento che possa verificare l'ipotesi aristotelica che velocità e forza siano direttamente proporzionali.

Per farlo, utilizziamo una rotaia a cuscino d'aria.

L'oggetto descritto da Aristotele sarà il carrello della rotaia. Ne viene analizzato lo schema delle forze quando la rotaia è spenta e il carrello si trova collegato ad un peso tramite un filo, come descritto in figura, prima che il peso arrivi al fermapeso.



● Il carrello è sottoposto a quattro forze: la forza peso, la reazione vincolare della rotaia, la tensione della corda e la forza di attrito.

In questa prima configurazione le forze si annullano due a due e il carrello rimane in equilibrio.

In questo primo esempio la relazione di proporzionalità aristotelica risulta verificata: Se la forza totale che agisce su un oggetto è nulla, lo è anche la velocità, infatti l'oggetto, inizialmente in quiete, rimane fermo.

$$0 N = m \cdot v \rightarrow v = 0 m/s$$

Per porci nella situazione descritta nel brano letto dovremmo analizzare una situazione in cui il carrello è sottoposto ad una sola forza.

Il cuscinetto ad aria serve proprio per andare ad annullare la forza di attrito e fare in modo di avere un oggetto che sia sottoposto alla sola tensione del filo.

In questa nuova configurazione ci aspettiamo che, a seguito dell'applicazione della forza, l'oggetto cominci a muoversi con una velocità ad essa proporzionale, e quindi costante, dato che la tensione della corda è dovuta alla forza peso che è costante.

In questo primo momento osserviamo soltanto che il carrello si muove a seguito della forza, ma non verificiamo la proporzionalità.

Chiediamo invece agli studenti cosa si aspettano che succeda quando il peso raggiunge il fermapeso e quindi la tensione della corda si annulla.

Coerentemente con l'ipotesi di proporzionalità, alcuni studenti hanno risposto che, dato che la forza si annulla, anche la velocità si deve annullare e che quindi il carrello si fermerà.

È stato molto interessante vedere lo stupore negli occhi di alcuni studenti nel momento in cui, a seguito dell'arresto del peso che trascinava l'oggetto, l'oggetto non si è fermato ma ha continuato a muoversi.

Questo semplice esperimento è in contrasto con la legge di proporzionalità tra forza e velocità e quindi è sufficiente a dimostrare la non correttezza dell'ipotesi fatta.

Viene quindi chiesto agli studenti di fare delle nuove ipotesi che possano essere adeguate a descrivere entrambe le situazioni sia quella in cui il corpo fermo inizialmente rimane fermo sia quella in cui il corpo che si muove ad una certa velocità inizialmente continua a muoversi anche se non ci sono più forze agenti su di esso.

Qualcuno ipotizza che non sia la velocità ad annullarsi, ma la variazione della velocità. In questo modo un corpo inizialmente fermo rimane fermo, mentre un corpo inizialmente in movimento continua a mantenere inalterata la propria velocità.

Come è possibile verificare questa ipotesi attraverso un nuovo esperimento che utilizzi gli stessi strumenti a nostra disposizione?

Se la velocità è costante, il rapporto tra lo spazio percorso e l'intervallo di tempo impiegato a percorrerlo deve essere costante.

Si misurano quindi lo spazio (con la scala graduata della rotaia) e il tempo (con dei traguardi con fotocellule collegate ad un cronometro) e si ripete la misura cambiando lo spazio tra i traguardi.

Riportiamo di seguito una delle relazioni delle esperienze prodotte dagli studenti.

## TITOLO: RELAZIONE FORZA--VELOCITA' ¶

**OBIETTIVO (1):** Verificare la formula  $F=P \cdot x \cdot V$ , in cui forza e velocità sono direttamente proporzionali e il peso è inversamente proporzionale. ¶

**MATERIALE (1):** Rotaia a cuscino d'aria, supporto, filo, pesetto, cronometro. ¶

**PROCEDIMENTO (1):** ¶

**Preparazione esperienza:** Se la formula fosse corretta, al cessare della forza la velocità sarebbe pari a zero. Quindi si deve sperimentare sul moto di un corpo non sottoposto a forze esterne. Utilizzo la rotaia a cuscino d'aria per eliminare la forza d'attrito, e un supporto che permette al peso di non influire più sull'oggetto dopo averne avviato il moto e la forza peso sarà resa nulla dalla forza normale, così facendo il corpo non sarà più sottoposto ad alcuna forza esterna. ¶

**Svolgimento:** Aziono lo strumento in modo che il pesetto faccia partire il corpo. ¶

**OSSERVAZIONE (1):** Osservo che una volta che il pesetto arriva a poggiare sul supporto (e quindi al cessare delle forze esterne) il corpo non si ferma ma continua il suo moto. ¶

**CONCLUSIONE (1):** La formula non è corretta. Un corpo non sottoposto ad alcuna forza esterna continua il suo moto. ¶

**OBIETTIVO (2):** Scoprire le caratteristiche del moto del corpo al cessare delle forze esterne (è costante? Accelera? Diminuisce?) ¶

**MATERIALE (2):** Rotaia a cuscino d'aria, fotocellule, filo, pesetto, cronometro, supporto. ¶

**PROCEDIMENTO (2):** ¶

**Preparazione esperienza:** Uguale alla precedente. ¶

**Svolgimento:** Misuro tre volte la velocità media del corpo utilizzando ogni volta due istanti e due posizioni diverse (ovviamente devo prendere istanti che siano dopo che il pesetto ha raggiunto il supporto, e non prima). ¶

**MISURE E RACCOLTA DATI (2):** ¶

S1 ¶ (cm) ¶	S2 ¶ (cm) ¶	DELTA-S ¶ (cm) ¶	T1 ¶ (s) ¶	T2 ¶ (s) ¶	DELTA-T ¶ (s) ¶	Vm · deltaS/deltaT ¶ (cm/s) ¶
55,0 ± 0,1 ¶	125,0 ± 0,1 ¶	70,0 ± 0,2 ¶	0,00 ± 0,01 ¶	0,61 ± 0,01 ¶	0,61 ± 0,02 ¶	1,15 ± 0,04 ¶
55,0 ± 0,1 ¶	150,0 ± 0,1 ¶	95,0 ± 0,2 ¶	0,00 ± 0,01 ¶	0,84 ± 0,01 ¶	0,84 ± 0,02 ¶	1,13 ± 0,03 ¶
55,0 ± 0,1 ¶	110,0 ± 0,1 ¶	55,0 ± 0,2 ¶	0,00 ± 0,01 ¶	0,49 ± 0,01 ¶	0,49 ± 0,02 ¶	1,12 ± 0,04 ¶

¶

**ANALISI DATI (2):** Al variare degli intervalli di tempo presi in considerazione la velocità media del corpo è sempre la stessa. ¶

**CONCLUSIONE (2):** Un corpo non sottoposto ad alcuna forza esterna continua il suo moto in maniera costante. ¶

# Il metodo sperimentale

In questa lezione in compresenza viene fatto un *brain storming* relativo a quali siano stati i punti fondamentali per la verifica della relazione tra forza e velocità:

- Scrivere la relazione in formula matematica
- Creare un esperimento che possa mettere in evidenza soltanto le variabili di interesse andando ad annullare le altre
- Eseguire delle misure delle grandezze individuate
- Verificare, attraverso la matematica, l'ipotesi fatta.

Questo è un passaggio fondamentale perché permette di soffermarsi sul metodo utilizzato che, successivamente, verrà strutturato da Galileo.

Si cerca di far emergere dagli alunni le differenze tra questo modo di procedere e quello utilizzato da Aristotele nella sua teoria del movimento: qualcuno dice che in Aristotele il movimento è più generale rispetto a come è stato descritto e analizzato nel Laboratorio.

Si chiede di precisare il significato di “generale” e si ottiene che abbiamo analizzato due tipi di movimento diversi.

Si chiede allora quale sia il “movimento diverso” e si ottiene come risposta che “Aristotele aveva la Metafisica mentre noi in Laboratorio avevamo usato pesetti e rotaia”.

Un'alunna commenta che è diverso il modo di osservare la realtà da parte di Aristotele.

Si propone, pertanto, di usare i termini “visione qualitativa” e l'espressione “osservazione ingenua” (così come verrà definita successivamente da Einstein) della realtà.

Si palesa un'altra particolarità di questo Percorso: affrontare l'evoluzione storica di un concetto (in questo caso di ciò che si intenda per movimento).

A questo punto si propone la lettura del seguente brano tratto da *Il Saggiatore*:

*«La filosofia [della natura] è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto dinanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscere i caratteri ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi [sic] è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto».*

(G.Galilei, *Il Saggiatore*, 1623, in *Opere*, vol. VI, p. 232).

Viene chiesto agli studenti quale ruolo rivesta la matematica nell'analisi dei fenomeni fatta da Aristotele e in quella di Galileo.

Dalla discussione è emerso che la matematica in Aristotele non svolgeva alcun ruolo perché i suoi strumenti di analisi della realtà erano: parola, razionalità umana e logica. In più si sostiene che l'indagine razionale della natura di Aristotele fosse basata su assunti metafisici.

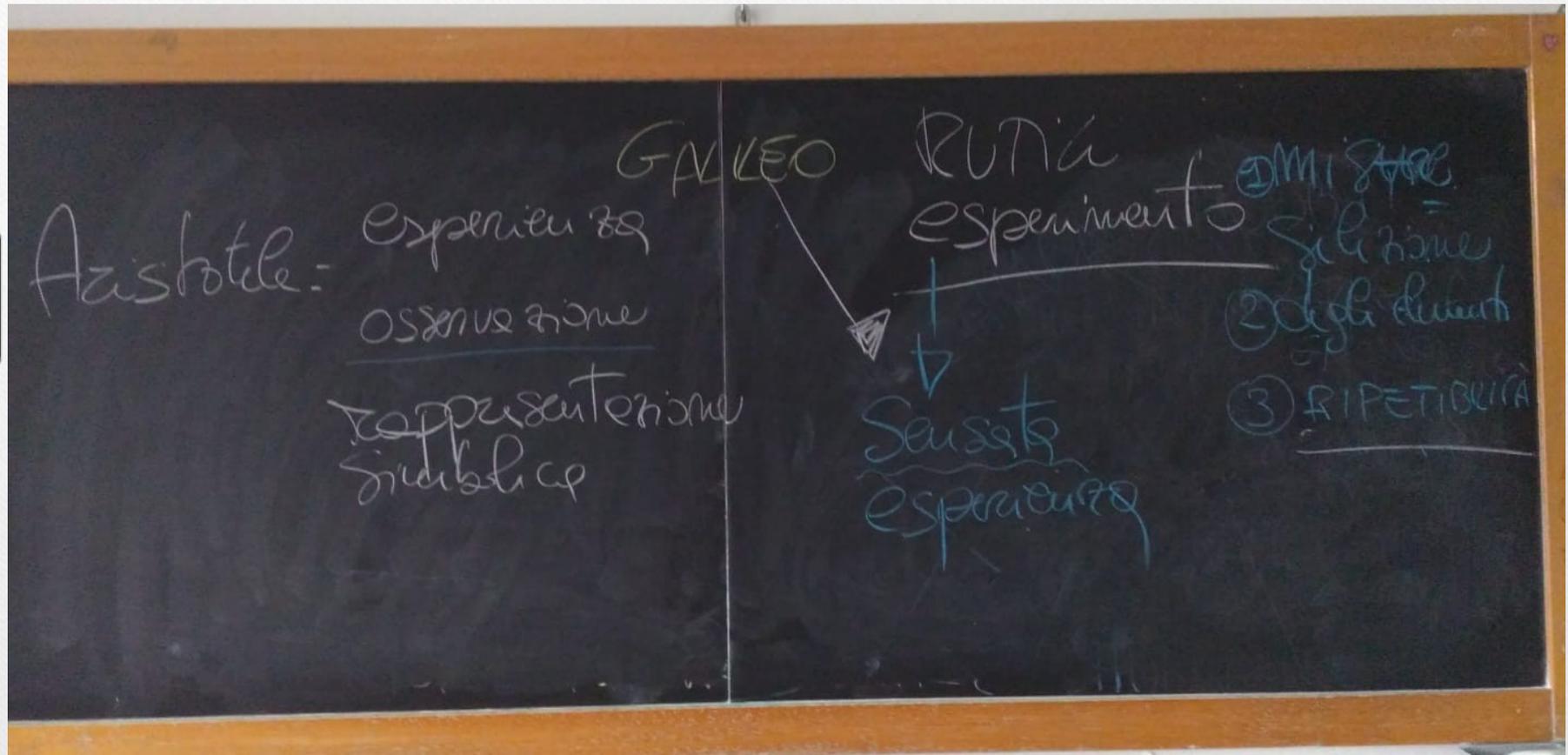
Galileo, invece, pone la matematica all'interno della natura attribuendole non solo un ruolo di strumento di indagine: essa è la struttura della realtà, creata da Dio e scritta in caratteri geometrici.

Infine vengono precisate le caratteristiche del metodo scientifico galileiano, basato sulle «sensate esperienze» e sulle «certe dimostrazioni».

In un *brain storming* emergono i seguenti punti salienti delle due visioni e dei due metodi:

Aristotele	Galileo
<ul style="list-style-type: none"><li>• Esperienza</li><li>• Osservazione</li><li>• Rappresentazione simbolica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Osservazione di un fenomeno e ipotesi di spiegazione.</li><li>• Esperimento: scelta degli elementi (sensata esperienza), misure, ripetibilità</li><li>• Verifica delle ipotesi con i dati raccolti</li></ul>

Riportiamo la lavagna del *brain storming* fatto in classe



- **Nuove ipotesi sulla relazione Forza- Moto**

Rimane da verificare la nuova ipotesi fatta nel caso in cui sul corpo agiscano delle forze esterne.

Anche in questo caso ci poniamo in una situazione semplificata e analizziamo la situazione in cui il carrello è soggetto solo alla forza costante della tensione della corda.

Eliminiamo il fermapeso e utilizziamo una elettrocalamita per poter far iniziare il moto con velocità nulla.

Se il corpo soggetto ad una forza costante avesse anche una accelerazione costante dovrebbe soddisfare le leggi del moto uniformemente accelerato

$$s = \frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2 + s_0 \rightarrow a = \frac{2 \cdot \Delta s}{(\Delta t)^2}$$

Riportiamo la seconda relazione di laboratorio di una studentessa.

## TITOLO: RELAZIONE FORZA — ACCELERAZIONE ¶

**OBIETTIVO:** Individuare la corretta relazione tra forza e accelerazione, più precisamente mi chiedo se un' applicazione costante di forza causa un' accelerazione costante. ¶

**MATERIALI:** Rotaia a cuscino d'aria, una delle fotocellule ad essa applicata, filo, pesetto, cronometro, righello. ¶

**PROCEDIMENTO:** **Preparazione esperimento:** Per verificare se l' accelerazione è costante devo utilizzare la formula inversa della legge oraria del moto uniformemente accelerato, ovvero:  $S = S_0 + V_0 \cdot \Delta T + \frac{1}{2} \cdot a \cdot (\Delta T)^2$ . ¶

Mi rendo conto però di avere due incognite, l' accelerazione e la velocità iniziale. ¶

Allora pongo la velocità iniziale uguale a zero, per farlo devo sistemare la rotaia a cuscino d'aria in modo che  $V_0 = 0 \text{ cm/s}$ : farò partire il corpo dall' elettrocalamita e azionerò il cronometro nel preciso istante in cui partirà l' oggetto. ¶

A questo punto però  $S_0$  viene negativo perché il corpo se parte dall' elettrocalamita parte da una posizione arretrata rispetto allo zero. Attraverso l' utilizzo del righello misuro la distanza tra lo zero e l' oggetto, tenendo conto dell' ulteriore errore sulla misura (0,5) che aumenterà quello del  $\Delta T \cdot S$ . ¶

**Svolgimento:** Aziono il meccanismo, il cronometro parte, e grazie al pesetto (che questa volta non poggia mai sul supporto, in modo che venga applicata una forza costante che quindi non cessa mai) parte anche il corpo. Misuro tre volte il valore dell'accelerazione media del corpo considerando ogni volta un intervallo di tempo e uno spostamento diverso.

### MISURE E RACCOLTA DATI:



SO (cm)	SF (cm)	DELTA-S (cm)	TO (s)	TF (s)	DELTA-T (s)	$a = \frac{2(SF - SO)}{DELTA-T^2}$ (cm/s <sup>2</sup> )
-2,5 ± 0,5	90,0 ± 0,1	92,5 ± 0,6	0,0 ± 0,01	1,02 ± 0,01	1,02 ± 0,02	177,82 ± 0,05
-2,5 ± 0,5	80,0 ± 0,1	82,5 ± 0,6	0,0 ± 0,01	0,97 ± 0,01	0,97 ± 0,02	175,36 ± 0,06
-2,5 ± 0,5	70,0 ± 0,1	72,5 ± 0,6	0,0 ± 0,01	0,90 ± 0,01	0,90 ± 0,02	179,01 ± 0,06



**ANALISI DATI:** Al variare degli intervalli di tempo presi in considerazione l'accelerazione del corpo non è sempre la stessa.

**CONCLUSIONE:** Osservando i dati raccolti, l'accelerazione risulta non essere costante. Secondo me questo è dovuto a degli errori di calcolo senza i quali la conclusione sarebbe: il moto di un corpo sottoposto ad un'applicazione costante di forza è un moto uniformemente accelerato. L'accelerazione del corpo è direttamente proporzionale alla forza che agisce sul corpo ed ha la stessa direzione e lo stesso verso della forza applicata o della somma delle forze applicate (nel caso in cui siano più di una).

# Esercitazione

In questa lezione vengono enunciati e formalizzati i primi due principi della dinamica e vengono fatti alcuni esercizi applicativi.

## Lettura di Einstein e critica all'aristotelismo

Si propone la lettura del brano di Einstein riportato di seguito e si apre un dibattito sulla differenza tra i due approcci descritti dallo scienziato, per andare quindi ad analizzare quali siano le novità introdotte da Galileo nello studio della natura.

## **Trascrizione di Einstein, Infeld : L'evoluzione della fisica, pagg.19-21**

*«Uno dei problemi fondamentali, durante millenni completamente oscurato dalla sua complessità, è quello del moto. Invero, i moti che abbiamo occasione di osservare intorno a noi, come quelli di un sasso lanciato in aria, di una nave veleggiante in mare, di un carrello spinto lungo una strada, sono tutti assai intricati. Per capire tali fenomeni è consigliabile cominciare dal più semplice dei casi per poi passare ai più complessi. Consideriamo un corpo in riposo, vale a dire del tutto privo di moto. Per cambiarne la posizione occorre esercitare su di esso un'azione qualsiasi, ossia, spingerlo, sollevarlo o ricorrere ad altri corpi, quali un cavallo o una macchina a vapore, che agiscano su di esso. La nostra idea intuitiva è che il moto sia connesso con l'azione di spingere, sollevare o tirare. Ripetute esperienze c'inducono a ritenere che bisogna spingere con maggior forza se si vuole che il corpo si muova più celermente. La conclusione che quanto maggiore è l'azione esercitata su un corpo, tanto maggiore è anche la sua velocità, si presenta come la più naturale. Una vettura a quattro cavalli è più celere di una tirata da due soli cavalli. L'intuizione ci dice che la velocità è essenzialmente legata all'azione.*

*Com'è noto ai lettori di novelle poliziesche, un falso indizio imbrogliava le cose e ritarda la soluzione. Così è avvenuto nel caso del moto: il ragionamento suggerito dall'intuizione era erroneo e condusse a false idee che prevalsero durante secoli. La grande autorità di Aristotele in tutta Europa fu probabilmente la ragione principale per cui durante tanto tempo si continuò a credere nella suddetta conclusione intuitiva. Nella Meccanica, durante duemila anni attribuita ad Aristotele, si legge:*

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

*La scoperta e l'uso del ragionamento scientifico, a opera di Galileo, fu uno dei più importanti avvenimenti nella storia del pensiero umano e segna il vero inizio della fisica. Questa scoperta insegnò che non sempre ci si può fidare delle conclusioni intuitive basate sull'osservazione immediata, poiché esse conducono talvolta fuori strada.*

*Ma dov'è che l'intuizione sbaglia? E mai possibile che ci sia errore nel ritenere che una vettura tirata da quattro cavalli è più celere di una tirata da due soltanto?*

*Proviamo a esaminare più da vicino i fatti fondamentali del moto, partendo da esperienze quotidiane, familiari all'umanità fino dagli albori della civilizzazione e acquisite nel corso della dura lotta per l'esistenza.*

*Supponiamo che un uomo segua una strada diritta e piana, spingendo innanzi a sé un carrello a quattro ruote e che a un tratto cessi di spingere. Il carrello non si fermerà subito ma continuerà a muoversi per una breve distanza. Domandiamoci: come faremo per accrescere questa distanza? I mezzi idonei sono diversi e cioè ungere le ruote e spianare meglio la strada. Quanto più facilmente gireranno le ruote e quanto più liscia sarà la strada e tanto più a lungo seguirà a muoversi il carrello. Ma che cosa è avvenuto in realtà con la lubrificazione delle ruote e con il levigamento della strada? Semplicemente questo: le influenze o resistenze esterne sono state ridotte. Gli effetti di ciò che si chiama «attrito» tanto fra le ruote e il carrello, come fra le ruote e la strada, sono scemati. Questa è già una interpretazione teorica dei fatti osservabili.*

*Ancorché tale interpretazione possa sembrare arbitraria, atteniamoci ad essa e facciamo un altro decisivo passo avanti; troveremo l'indizio buono. Immaginiamo una strada perfettamente piana e liscia, nonché ruote assolutamente senza attrito. In tal caso nulla arresterebbe più il carrello, cosicché esso potrebbe continuare a muoversi indefinitamente. Siamo giunti a questa conclusione valendoci di un esperimento ideale che in realtà non può mai venire eseguito, poiché è materialmente impossibile eliminare tutte le influenze esterne. Questo esperimento ideale conduce all'indizio basilare della meccanica del moto.*

*Confrontando i due metodi di abordare il problema vediamo che secondo l'idea intuitiva quanto maggiore è la forza, tanto maggiore è la velocità, e perciò la velocità indica se forze esterne agiscono o no su un corpo. Invece, secondo il nuovo indizio scoperto da Galileo, un corpo né spinto, né tirato, né comunque sollecitato, o in altre parole un corpo sul quale non agisce nessuna forza esterna, si muove uniformemente, vale a dire sempre con la stessa velocità e lungo una linea retta. Pertanto la velocità non denota affatto se forze esterne agiscono su un corpo. La conclusione di Galileo, che è quella giusta, venne enunciata una generazione più tardi da Newton, sotto forma della legge d'inerzia. Questa è generalmente la prima cosa, in fatto di fisica, che a scuola s'impara a memoria e che forse qualcuno dei lettori ricorda ancora. E cioè:*

***Ogni corpo persevera nel suo stato di riposo, oppure di moto rettilineo uniforme, a meno che non sia costretto a cambiare tale stato da forze agenti su di esso.***

*Come abbiamo visto, questa legge d'inerzia non può venir desunta direttamente da un esperimento reale, ma soltanto dalla riflessione speculativa, coerente con i fatti osservati. Ancorché l'esperimento ideale non possa mai venir attuato, esso conduce a una più profonda comprensione degli esperimenti reali.*

*Il mondo che ci circonda presenta una grande varietà di moti assai complessi. Come primo esempio abbiamo scelto il moto uniforme. Esso è il più semplice, poiché non richiede l'azione di forze esterne. Tuttavia, il moto uniforme non può mai effettuarsi; un sasso lasciato cadere dall'alto di una torre, un carrello spinto lungo una strada non possono mai muoversi con moto uniforme, perché non è possibile eliminare totalmente l'influenza di forze esterne.*

*In un buon romanzo giallo gli indizi più appariscenti conducono in genere a falsi sospetti. Similmente nel nostro intento di comprendere le leggi della natura, accade non di rado che la spiegazione intuitiva più ovvia induca in errore.*

*Il pensiero umano crea una sempre mutevole rappresentazione dell'universo. Il contributo di Galileo ha consistito nel demolire la veduta intuitiva sostituendola con una assai diversa e nuova. Questo è il grande significato della scoperta di Galileo».*

Dal dibattito seguito alla lettura del brano emergono varie considerazioni:

- il ruolo fuorviante dell'intuizione «ingenua» nella spiegazione dei fenomeni fisici;
- l'impossibilità di fare delle ipotesi sulla natura senza l'intuizione;
- la visione qualitativa di Aristotele risulta «vera» se non è confutata sperimentalmente;
- la concezione aristotelica era scientifica per l'epoca, dove per scienza si intendeva la conoscenza dell'essenza della realtà;
- lo scontro tra metodo scientifico e senso comune, in cui il primo ha la meglio sul secondo solo attraverso la misurazione.

# Verifiche degli apprendimenti

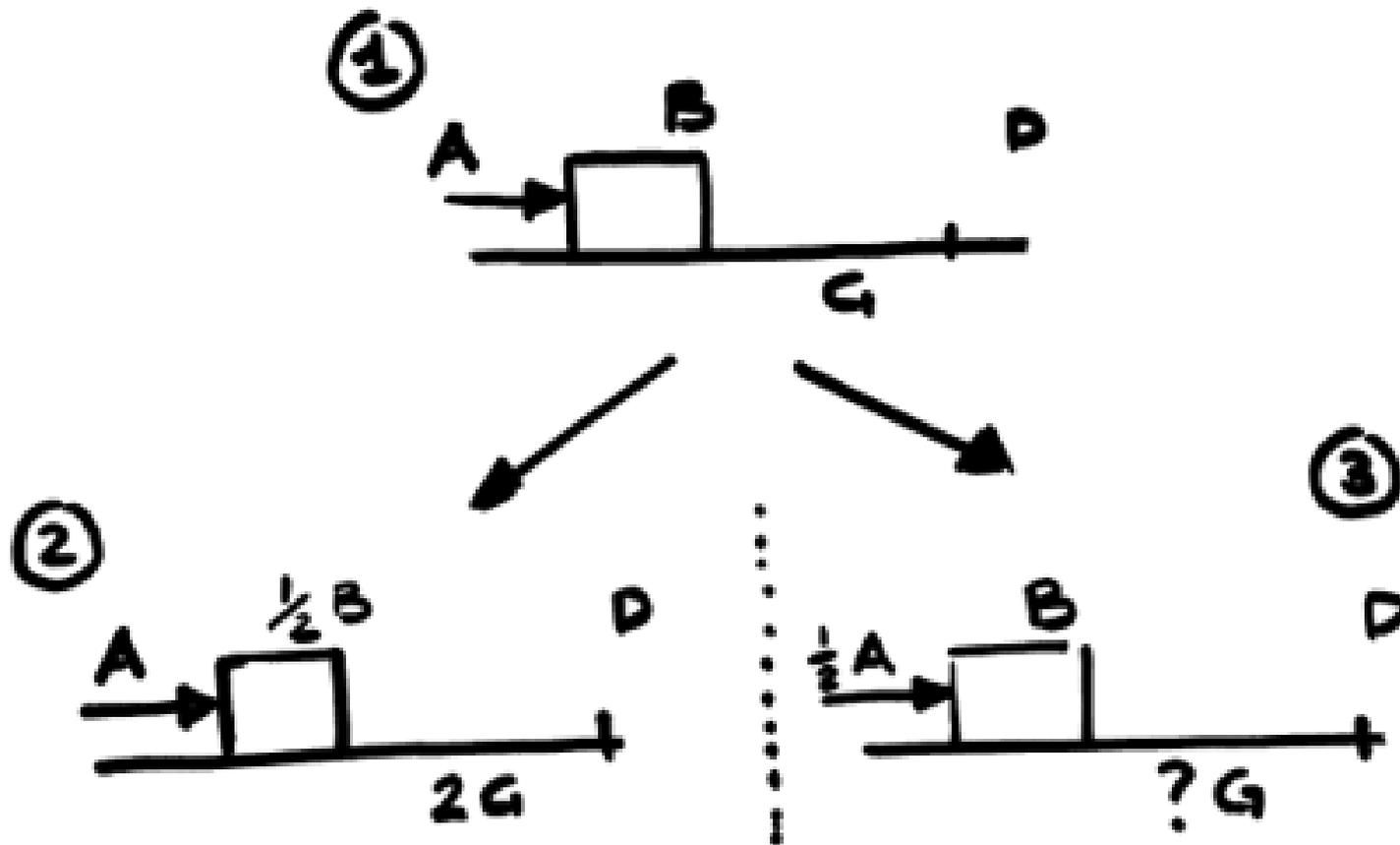
Tipologia impiegata: verifica scritta con quattro domande a risposta aperta

Riportiamo di seguito le domande proposte e alcuni esempi tratti dai lavori degli studenti:

- 1) Quali novità introduce il metodo scientifico rispetto all'indagine aristotelica della natura?
- 2) Definisci il mutamento per Aristotele e individua quali premesse metafisiche soggiacciono alla definizione aristotelica di movimento come traslazione.
- 3) Descrivi quali sono stati gli accorgimenti usati nella preparazione dell'esperimento per verificare l'ipotesi aristotelica di relazione tra forza e velocità, il risultato ottenuto ed enuncia il principio fisico trovato alla fine dell'esperimento.

# Verifiche degli apprendimenti

4. → Spiega il disegno 1 in base alla teoria aristotelica ricavando la formula che lega le grandezze descritte. Spiega poi come da questo si passi ai disegni 2 e 3 e dove sta la differenza. ¶



# Esempio di verifica degli apprendimenti

1. Quali novità introduce il metodo scientifico rispetto all'indagine aristotelica della natura?

L'indagine aristotelica sulla natura si basava sull'osservazione diretta o ingenua (per Galileo). Il metodo scientifico di Galileo invece si basa sempre sulle ~~semplici~~ <sup>neccessarie</sup> esperienze, ma questa volta ~~non vengono~~ poste ~~alle~~ delle condizioni <sup>come la misurazione</sup> che ~~per~~ Aristotele <sup>concepiva</sup> invece ~~era~~ concepiva solo in maniera astratta; la selezione degli elementi ovvero decidere cosa prendere in considerazione e cosa no; e la ripetibilità ~~era~~, ovvero la possibilità di ripetere l'esperimento in qualsiasi epoca, luogo, etc... E, insieme alle sensate esperienze, ~~le~~ <sup>le</sup> necessarie dimostrazioni, ovvero la formalizzazione delle prime sotto forma matematica, ovvero in simboli e formule e la matematica di Galileo era costituita da algebra e geometria ed era lo strumento che ~~ha~~ ci ha permesso per comprendere la natura.

# Esempio di verifica degli apprendimenti

- ✘ Definisci il mutamento per Aristotele e individua quali premesse metafisiche soggiacciono alla definizione aristotelica di movimento come traslazione.

Per Aristotele il mutamento ~~è~~ è il cambiamento graduale di un qualcosa nella natura. Il mutamento può essere: di generazione e corruzione e agisce sulla sostanza dell'essere, alterazione che agisce sulla qualità dell'essere, aumento e diminuzione che agisce sulla quantità dell'essere e la traslazione è l'unico mutamento che in realtà è movimento perché è lo spostamento di un corpo da un luogo ad un altro.

La traslazione è quindi un movimento e per Aristotele il movimento è il passaggio da potenza ad atto.

La potenza è la possibilità che un corpo fermo si muova, mentre l'atto è l'attualizzazione della potenza. L'unione tra potenza e atto è la sostanza cioè quello di cui è composto l'essere.

- Quindi il momento per traslazione è il movimento dell'essere.

# Esempio di verifica degli apprendimenti

3. Descrivi quali sono stati gli accorgimenti usati nella preparazione dell'esperimento per verificare l'ipotesi aristotelica di relazione tra forza e velocità, quale risultato è stato ottenuto ed enuncia il principio fisico trovato alla fine dell'esperimento.

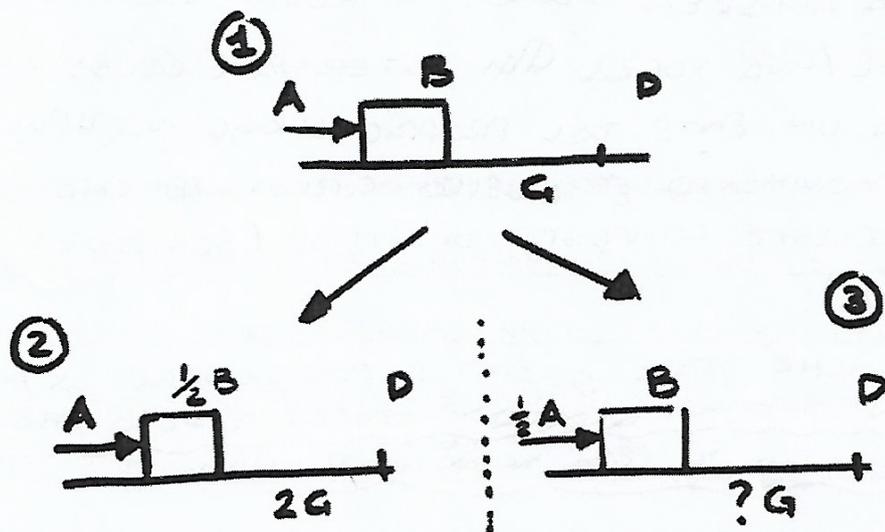
Nell'esperimento per verificare ~~la~~ teoria di Aristotele, che dice  
che ~~la forza~~ <sup>è motore</sup>, ossia la forza e la velocità sono direttamente  
proporzionali. Abbiamo ~~per~~ scelto le condizioni interessanti a noi,  
che sono: l'annullare le forze che agiscono verticalmente, che  
sono la forza peso e la reazione vincolare, che si eliminano a vicenda,  
l'annullare la forza d'attrito con ~~il~~ <sup>il</sup> ~~la~~ <sup>la</sup> rotella a cuscino d'aria,  
e annullare la forza ~~con~~ dopo che il corpo è partito con un tavolino.

## Esempio di verifica degli apprendimenti

Abbiamo sostituito poi gli elementi di Aristotele con i nostri, usando il pesetto come motore, il cursore come il masso, con la lunghezza percorsa determinata da due fotocellule e il tempo calcolato dal cronometro. Tutto ciò viene praticato sulla rotaia a cuscinetti d'aria.

In conclusione dell'esperimento abbiamo visto che il cursore non si era fermato quando la forza è annullata con il tappolino. E attraverso altri esperimenti e calcoli abbiamo ~~concluso~~ dedotto che la teoria di Aristotele non funziona e ~~la forza~~ ~~è~~ quando la forza è nulla la velocità è costante, dimostrando così il primo principio della dinamica o d'inerzia, che l'aveva scoperto Galileo con l'esperimento mentale.

4. Spiega il disegno 1 in base alla teoria aristotelica ricavando la formula che lega le grandezze descritte. Spiega poi come da questo si passi ai disegni 2 e 3 e dove sta la differenza.



SECONDO ARISTOTELE, QUANDO SECONDO UN CORPO VIENE ESERCITATA UNA FORZA, ESSO SI MUOVERÀ E, SE NON VIENE PIÙ ESERCITATA, SI FERMERÀ. QUINDI, TRA FORZA E VELOCITÀ C'È UN RAPPORTO DI PROPORZIONALITÀ DIRETTA CHE, IN QUALCHE MODO, È LEGATO ALLA MASSA DEL CORPO MOSSO.

DA QUANTO ARISTOTELE RAPPRESENTA SIMBOLICAMENTE QUESTA FORMULA: "A = B · G", DOVE A È LA FORZA / IL MOTORE, B È IL MOSSO, G È  $\frac{D}{AS}$  E SPAZIO CHE IL MOSSO PECCORRE E D È IL TEMPO  $\Delta t$  CHE IL MOSSO

## Esempio di verifica degli apprendimenti

impiega per percorrere tale distanza. Quindi, una forza A agisce su un corpo B per una lunghezza G in un tempo D. Da qui ne ricava una forza A' agisce su metà di B in un tempo uguale D per ~~per~~ il doppio della lunghezza G. Se, invece, dividiamo A ma non B, non otterremo né due volte G né ~~un prodotto~~ <sup>un prodotto</sup> di G, <sup>in una frazione del</sup> ~~nel~~ tempo D. Ciò è dovuto al fatto che ~~il~~ tale movimento va visto mediante lo studio della Metafisica. Il movimento, infatti, è interno alla sostanza, in quanto passaggio da materia a forma, quindi dividendo la forza A dividiamo automaticamente la sostanza. Se ciò non accade si forma un paradosso.

## Risultati ottenuti

Analisi critica in relazione agli apprendimenti degli alunni:

- a) in relazione agli obiettivi del Percorso effettuato, gli alunni hanno raggiunto una maggior consapevolezza della formazione e dell'evoluzione storico-filosofica di un concetto o di un problema;
- b) gli studenti hanno acquisito una maggior consapevolezza dell'uso del linguaggio specifico di entrambe le discipline;
- c) *a posteriori* si è potuto constatare che gli studenti sono più consapevoli del significato degli enunciati dei principi della dinamica; in particolare non confondono più la proporzionalità tra forza e accelerazione con quella tra forza e velocità;
- d) gli studenti hanno potuto sperimentare l'interconnessione tra discipline diverse non più percepite come rigidamente separate;
- e) la Filosofia è stata presentata e quindi appresa come un sapere non vincolato al libro di testo, ma come confronto vivo e attuale tra l'attività speculativa e l'indagine sperimentale.

## Valutazione dell'efficacia del percorso didattico

In sede di LSS dell'Istituto, il Percorso è stato considerato efficace in relazione agli obiettivi proposti.

Inizialmente la metodologia usata ha disorientato gli alunni. Infatti si introducono contemporaneamente due novità: innanzitutto gli alunni entrano in contatto con una disciplina nuova (il percorso presentato comincia all'inizio del primo anno dello studio della filosofia); inoltre si ricorre ad una metodologia di approccio allo studio che non prevede una netta separazione tra discipline.

Si segnala comunque il fatto che gli alunni hanno mostrato curiosità e interesse per gli argomenti trattati. Inoltre, nei momenti di ricostruzione delle esperienze e delle conoscenze pregresse, come nei momenti di approfondimento, sono stati rilevati partecipazione e impegno.