

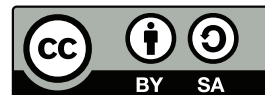
“Batti il 5E, Cinematica!”  
Percorso Didattico Introduttivo alle Basi della Cinematica

Daniele Melocchi  
Agnese Montanaro  
Matteo Savatteri

23 febbraio 2021

Copyright Daniele Melocchi, Agnese Montanaro, Matteo Savatteri - 2021

Quest'opera è distribuita con licenza Creative Commons "Attribuzione – Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale".



Contatti:

- [daniele.melocchi@studenti.unimi.it](mailto:daniele.melocchi@studenti.unimi.it)
- [agnese.montanaro@studenti.unimi.it](mailto:agnese.montanaro@studenti.unimi.it)
- [matteo.savatteri@studenti.unimi.it](mailto:matteo.savatteri@studenti.unimi.it)

Il codice sorgente utilizzato per generare questo documento è disponibile nella cartella **progetto\_finale** della repository git raggiungibile presso l'indirizzo:

<https://github.com/savaroskij/PED1>



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
1.1	Propedeuticità . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Posizioni, Istanti, Distanze, Intervalli Temporal</b>	<b>7</b>
2.1	Engage . . . . .	7
2.2	Explore . . . . .	8
2.2.1	Fotografare nel Tempo . . . . .	9
2.2.2	Fotografare nello Spazio . . . . .	9
2.2.3	Fotografarsi nel Tempo e nello Spazio . . . . .	10
2.3	Explain . . . . .	10
2.4	Extend . . . . .	12
2.5	Evaluate . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Velocità, Moto Rettilineo Uniforme</b>	<b>14</b>
3.1	Engage . . . . .	14
3.2	Explore . . . . .	16
3.2.1	Dal Grafico al Moto . . . . .	16
3.2.2	Dal Moto al Grafico . . . . .	19
3.2.3	Velocità e Moto Rettilineo Uniforme . . . . .	19
3.3	Explain . . . . .	20
3.4	Extend . . . . .	22
3.5	Evaluate . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Accelerazione, Moto Rettilineo Uniformemente Accelerato</b>	<b>25</b>
4.1	Engage . . . . .	25
4.2	Explore . . . . .	26
4.2.1	Moto di un Corpo su un Piano Inclinato . . . . .	26
4.2.2	Dal Moto al Grafico delle Velocità Medie . . . . .	27
4.2.3	Dal Moto al Grafico dello Spostamento in Funzione del Tempo . . . . .	28
4.2.4	Attività Bonus . . . . .	28
4.3	Explain . . . . .	28
4.4	Extend . . . . .	32
4.5	Evaluate . . . . .	35

<b>A</b>	<b>Grafici per le Attività Cinestetiche</b>	<b>36</b>
<b>B</b>	<b>Analisi Dati</b>	<b>38</b>
B.1	Moto Rettilineo Uniforme . . . . .	38
B.2	Moto Rettilineo Uniformemente Accelerato . . . . .	39
<b>C</b>	<b>Prova per gli Studenti</b>	<b>40</b>
	<b>Riferimenti</b>	<b>43</b>

# Capitolo 1

## Introduzione

Questo documento presenta un ciclo di lezioni svolte in modalità di didattica a distanza (*DAD*) e indirizzate ad una classe 1<sup>a</sup> Liceo Scientifico, riguardanti le basi della cinematica, il moto rettilineo uniforme e uniformemente accelerato.

Il percorso didattico è suddiviso in tre moduli, all'interno dei quali sono affrontati i seguenti argomenti, ordinati secondo un criterio di complessità crescente, partendo da un approccio completamente qualitativo, per passare ad uno via via più quantitativo:

1. Posizioni, istanti, distanze e intervalli temporali, leggi orarie.
2. Velocità media, velocità istantanea, moto rettilineo uniforme.
3. Accelerazione media, moto uniformemente accelerato.

Il percorso si fonda sul *modello didattico delle 5E* [5]. Ogni modulo si suddivide dunque in cinque fasi, nelle quali sono presentate attività, riflessioni, suggerimenti e problematiche affrontate, per ciascuna di queste: *engage*, *explore*, *explain*, *extend*, *evaluate*.

### 1.1 Propedeuticità

Al fine della buona riuscita di questo percorso, è necessario che gli studenti coinvolti abbiano affrontato e consolidato la comprensione dei seguenti argomenti:

- Operazioni algebriche elementari (es. frazioni e potenze).
- Polinomi.
- Equazioni di primo grado.
- Relazione di proporzionalità, equazione della retta
- Rappresentazioni di numeri su un asse ordinato.

- Rappresentazione di coppie di numeri (punti) su un diagramma cartesiano.
- Conoscenza di grandezze fondamentali. (es. lunghezza, tempo)
- Conoscenza di unità di misura di grandezze fondamentali. (es. metro, secondo)

## Capitolo 2

# Posizioni, Istanti, Distanze, Intervalli Temporal

Nel presente modulo lo studente familiarizza con i concetti di posizione, distanza, istante (inteso come *lettura di orologio*) e intervallo di tempo. Successivamente, guidato dal docente, esplora le relazioni che intercorrono tra queste nozioni nel contesto del moto di un corpo, giungendo ad una comprensione qualitativa del concetto di *legge oraria*.

### 2.1 Engage

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale:** Computer

Il docente mostra agli studenti <sup>1</sup> il video di un fenomeno fisico riprodotto *in reverse* (ovvero ribaltando l'asse temporale). Il fenomeno fisico rappresentato dovrebbe essere scelto in modo che sia semplice distinguere se il video viene riprodotto in reverse oppure no. Il fenomeno della diffusione di una goccia d'inchiostro in un bicchiere d'acqua, quello del lancio in aria di polvere di gesso colorata o qualsiasi altro esempio di sistema che passa da uno stato ordinato ad uno disordinato costituiscono buoni esempi. Nel contesto di questo progetto si è scelto di mostrare il filmato della deflagrazione di un deposito di nitrato di ammonio, avvenuta nell'Agosto 2020 a Beirut <sup>2</sup> (vedi Figura 2.1). Successivamente il professore mostra un secondo filmato, ma questa volta non sono stati applicati particolari effetti in post produzione. In questo caso la scelta del fenomeno non è così rilevante, purché venga mostrato un fenomeno dinamico ed

---

<sup>1</sup>Nel contesto della DAD, il docente può utilizzare una piattaforma web di videotelefonia, che supporti la condivisione di file multimediali. Jitsi Meet<sup>®</sup>, Zoom<sup>®</sup>, Google Meet<sup>®</sup> e Microsoft Teams<sup>®</sup> sono solo alcuni esempi.

<sup>2</sup>È possibile scaricare il video presso [questa pagina web](#). L'indirizzo del video originale si trova nei Riferimenti [9].



Figura 2.1: Un frame del video dell’esplosione di Beirut dell’Agosto 2020.

interessante. Nell’ambito di questo percorso didattico vengono riprodotti alcuni secondi tratti dal video di una partita di biliardo <sup>3</sup>. Il docente chiede agli alunni di descrivere quanto appena osservato. Si ritiene che tutti gli studenti siano in grado di riconoscere che il primo video è stato sottoposto ad un’inversione temporale, mentre questo non è vero per il secondo video. Gli studenti potrebbero affermare: “Il primo video è stato riprodotto al contrario, mentre il secondo no” o anche “Quello che accade alla fine del primo video nella realtà accadrebbe all’inizio”. Sulla base di simili risposte il professore fa notare alla classe che tutti gli studenti sono stati in grado di riconoscere con facilità quale dei due video è stato riprodotto *in reverse*. Egli infine afferma che ognuno di noi possiede un’innata capacità di riconoscere il verso dello scorrere del tempo: il tempo scorre in un solo verso, cioè *in avanti* e gli eventi si svolgono in un ordine predefinito. Questa caratteristica è rappresentabile nel contesto di un esperimento di fisica utilizzando un asse temporale ordinato che si legge da sinistra verso destra.

## 2.2 Explore

Questa fase viene svolta da ciascun studente a casa. Il professore propone agli alunni tre attività distinte, attraverso le quali possano arrivare a comprendere i concetti citati precedentemente (inizio Capitolo 2).

In primo luogo gli studenti dovrebbero cogliere il significato di istante di tempo, o meglio *lettura di orologio* [2] <sup>4</sup>, e la differenza con intervallo di tempo

<sup>3</sup>È possibile scaricare il video presso [questo indirizzo web](#). L’indirizzo del video originale si trova nei Riferimenti [6].

<sup>4</sup>Il linguaggio utilizzato dal docente deve essere il più chiaro possibile, in modo che lo



e in secondo luogo la differenza tra posizione e distanza. Tutte e tre le attività si basano sull'utilizzo della fotografia <sup>5</sup> e di grafici.

Emerge dalla letteratura, infatti, che l'utilizzo di grafici risulta essere un ottimo strumento per la comprensione di concetti di base della cinematica [3]. I grafici possono essere utili sia per descrivere il moto di un corpo osservato sia per prevedere il tipo di moto a partire dal grafico stesso.

### 2.2.1 Fotografare nel Tempo

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale richiesto:** Smartphone, Fogli di Carta

La prima attività proposta consiste nel fotografare diversi moti o situazioni (minimo tre) scelti dallo studente in vari momenti (possono essere scattate sia nella stessa giornata che in giorni differenti), quindi disegnare una linea del tempo su un foglio e posizionare le foto scattate secondo i momenti scelti. Non occorre scegliere una scala per la linea del tempo, perché interessa che lo studente si accorga solo qualitativamente del fatto che possano passare periodi di tempo di diversa durata tra eventi diversi. Inoltre in questa attività si dovrebbe cogliere che il tempo ha una propria sequenzialità e che ciascuna fotografia è un evento che accade in un istante determinato di tempo.

È opportuno che il docente guidi gli studenti mostrando loro un paio di esempi di quanto richiesto, come una sequenza di foto di una pentola piena d'acqua posta sul fuoco o episodi di vita quotidiana (Figura 2.2).



Figura 2.2: Istanti del fenomeno di una pentola piena d'acqua posta sul fuoco, collocati sulla linea del tempo.

### 2.2.2 Fotografare nello Spazio

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale richiesto:** Smartphone, Foglio di Carta

studente possa non fraintendere i concetti. Per esempio utilizzare il termine momenti, invece che letture di orologio, rimanda lo studente ad un concetto di tempo prolungato, non di istante.

<sup>5</sup>È opportuno che il tempo di esposizione per un singolo scatto sia ridotto, al fine di cogliere il concetto di istante temporale.

Come seconda attività viene chiesto di scegliere un punto di partenza su un corso o una via ed esplorarla camminando, fotografando palazzi o altri oggetti incontrati (almeno tre oggetti distinti). In seguito si disegni una linea su un foglio e si incollino le diverse fotografie in base alla disposizione dei soggetti immortalati lungo la via. Anche in questo caso non occorre che la linea presenti una scala, in quanto l'obiettivo del lavoro è comprendere il concetto di posizione di un corpo nello spazio e, in modo qualitativo, della posizione relativa rispetto ad altri oggetti.

Anche in questo caso occorre che il professore mostri almeno uno o più esempi (si veda la Figura 2.3).



Figura 2.3: Vari oggetti immortalati lungo una via e rappresentati sulla linea della posizione.

### 2.2.3 Fotografarsi nel Tempo e nello Spazio

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale richiesto:** Smartphone, Foglio di Carta

Infine, la terza attività consiste nel ripercorrere la medesima via della seconda esperienza, scattando dei *selfie* e appuntandosi la lettura di orologio corrispondente a ciascuna foto. Viene richiesta una elaborazione grafica in analogia a quanto fatto nelle precedenti, senza che l'insegnante ne specifichi la struttura finale.

Il professore per questa terza attività mostrerà solamente le fotografie scattate, senza mostrare agli studenti il grafico ottenuto, in modo che gli studenti possano ragionare su questo caso più complicato. Gli studenti dovrebbero essere in grado di capire che per rappresentare un corpo (loro stessi) che si muove nello spazio è necessario utilizzare due assi distinti, ovvero un diagramma cartesiano bidimensionale. La Figura 2.4 mostra un esempio del risultato atteso.

Tutte e tre le attività sono pensate per essere svolte incollando le fotografie su un foglio, perché si ritiene che attraverso questa modalità operativa lo studente possa avere occasione di riflettere e giudicare i risultati ottenuti.

## 2.3 Explain

- **Tempo richiesto:** 20' di discussione tra studenti + 30' di dialogo con il docente



Figura 2.4: I *selfie* della terza attività, rappresentati su un piano cartesiano.

In questa fase viene permesso agli alunni di confrontarsi ed interpretare quanto svolto nella fase precedente; il professore può intervenire per spiegare o formalizzare alcuni concetti emersi. L'insegnante *in primis* suddivide la classe in gruppi di cinque studenti <sup>6</sup> e assegna ciascun gruppo a un'aula virtuale differente. La piattaforma utilizzata sarà a discrezione della scuola <sup>7</sup>. L'insegnante chiede di discutere i grafici ottenuti nelle attività precedenti, confrontandoli, e visita le aule virtuali per monitorare il lavoro ed eventualmente indirizzare lo sguardo degli alunni con alcune domande. Per esempio: "Che cosa potreste dire della disposizione delle fotografie? Che significato potrebbe avere?". Ogni gruppo inizia quindi un *brainstorming* e sceglie un portavoce, il quale ha il compito di esporre quanto emerso di fronte alla classe riunita in un'unica aula virtuale con il professore.

Ciascuno studente nello svolgere la prima attività dovrebbe osservare che alcune foto potrebbero essere più ravvicinate tra loro di altre 2.2. Si ritiene che la maggioranza interpreti la disomogeneità della disposizione delle immagini come corrispondente a periodi di tempo di diversa durata tra i diversi scatti. Il professore può formalizzare questo concetto utilizzando il termine *intervallo di tempo*, lasciando che gli studenti ne diano la definizione. Si osserverà che

<sup>6</sup>Per esperienza degli autori, un numero esiguo o eccessivo di membri di un gruppo di lavoro rende difficile il coinvolgimento di tutti i partecipanti.

<sup>7</sup>Una possibilità è la piattaforma Zoom<sup>®</sup>, che permette facilmente di creare aule virtuali di lavoro.

l'intervallo di tempo sarà dato dalla differenza tra le letture di orologio delle due fotografie. Il docente a questo punto può domandare se un singolo scatto occupi un intervallo di tempo. Si ritiene che la maggior parte degli alunni abbia chiaro che la risposta sia negativa. La letteratura fa intendere che un focus importante è assicurarsi che lo studente comprenda che un istante di tempo equivale a *zero* secondi [2]<sup>8</sup>. Ciascuna fotografia corrisponde ad un istante di tempo differente.

Dopo aver discusso i risultati della prima attività, risulta più immediato il ragionamento sulla seconda. Un maggior numero di studenti è in grado di dire che ciascuno oggetto fotografato è in un luogo preciso, cioè occupa una posizione definita nello spazio. Alcuni potrebbero costruire un'analogia tra l'intervallo di tempo tra uno scatto e l'altro della prima attività e lo spazio tra un oggetto e l'altro in questa esperienza. Si ipotizza che qualcuno in classe riuscirà a far corrispondere l'aver camminato tra un oggetto incontrato e l'altro con il concetto di *distanza*.

Per quanto riguarda la terza esperienza è possibile che molti studenti si siano trovati in difficoltà nella parte di rappresentazione grafica, in quanto meno guidata delle precedenti. Tuttavia, è plausibile che in qualche gruppo di lavoro sia emersa almeno l'impossibilità di utilizzare un unico asse. L'attività, infatti, comprendeva due grandezze differenti: tempo e spazio. Nel caso nessun componente della classe sia arrivato ad ipotizzare un grafico con due assi, che indicano rispettivamente spazio e tempo, allora il professore è legittimato a guidarli in questa scoperta. Egli può far notare loro la presenza di due informazioni distinte per ciascuna foto e invitarli ad un paragone con i risultati delle prime due attività. Inoltre in questa attività vi è un altro aspetto che si ritiene possa emergere dalla discussione: il soggetto fotografato. Infatti, gli studenti potrebbero osservare che, a differenza delle prime due attività, qui il soggetto è sempre lo stesso in ogni scatto, cambiano solo i luoghi in cui si trova e le letture di orologio. Dunque, il grafico caratterizzato dai due assi posizione-tempo mostra dove si trova il soggetto -fissato un istante di tempo- ovvero rappresenta il moto di questo corpo. Il professore sottolinea nuovamente l'esistenza di due informazioni, la posizione e il tempo, e che esse siano in relazione tra loro. Egli in particolare spiega che esse sono legate dal concetto di *legge oraria*: una relazione che determina la posizione occupata da un corpo in moto (sempre il medesimo; in questa attività, sé stessi) ad un istante fissato.

## 2.4 Extend

- **Tempo richiesto in aula:** 30'
- **Materiale:** Computer, Oggetti domestici

---

<sup>8</sup>Qualche alunno potrebbe argomentare il contrario, sostenendo che un singolo scatto occupi un intervallo di tempo molto breve. Questa ipotesi è corretta. Tuttavia, il tempo di un singolo scatto risulta essere su una scala di ordini di grandezza inferiore rispetto a quella utilizzata per l'attività. Per questo motivo si assume ad istante il tempo di una fotografia.

In questa fase si propone un'attività mirata ad estendere la consapevolezza dello studente riguardo ad alcuni concetti presentati precedentemente. In particolare si desidera estendere l'idea di posizione, che lo studente ha maturato, allo spazio tridimensionale.

L'insegnante chiede a ciascuno studente di scegliere un oggetto nella stanza e di spiegare alla classe, con le proprie parole, dove questo oggetto si trovi. Lo studente potrebbe utilizzare altri oggetti nella stanza come riferimenti spaziali, dicendo ad esempio "L'oggetto si trova accanto alla finestra", oppure "L'oggetto si trova sopra il tavolo"; o forse potrebbe utilizzare sé stesso come riferimento affermando "L'oggetto si trova alla mia destra, in alto". A questo punto il docente chiede di scegliere altri due o tre oggetti e fa la stessa richiesta di localizzazione. Lo studente si renderà conto dell'impossibilità di creare nella propria mente un'idea della stanza degli altri compagni e della posizione di tutti gli oggetti, senza che costoro esplicitino un riferimento spaziale univoco, e per ogni oggetto indichino tre distanze misurate o stimate dal riferimento scelto. L'insegnante dovrebbe guidare gli studenti in questo processo ponendo domande e fornendo suggerimenti come: "Dove si trova l'oggetto A rispetto all'oggetto B? E rispetto all'oggetto C?", oppure "Dire che l'oggetto A si trova un metro sopra l'oggetto B è sufficiente a far comprendere al tuo compagno la posizione dell'oggetto B all'interno della stanza?" e ancora "Forse potremmo dire che l'oggetto B si trova sopra l'oggetto A, ma anche alla sua destra e qualche metro più avanti". Al termine di questo processo, il docente ufficializza la conoscenza acquisita disegnando <sup>9</sup> un diagramma cartesiano tridimensionale, collocando alcuni oggetti al suo interno e osservando che la posizione dell'oggetto preso come riferimento per tutti gli altri si chiama *origine* e le tre distanze sono rappresentate da tre numeri lungo gli assi, chiamati *coordinate cartesiane* tridimensionali.

## 2.5 Evaluate

Per la valutazione di questo primo modulo del percorso il docente tiene conto della partecipazione degli studenti alle varie attività proposte, del lavoro svolto sui grafici richiesti e del loro coinvolgimento attivo all'interno dei gruppi di discussione. Si terrà conto anche di una prova scritta da sottoporre agli studenti alla fine del percorso (si veda l'Appendice C).

---

<sup>9</sup>Il professore può disegnare su una lavagna e filmarsi durante l'operazione, oppure utilizzare una tavoletta grafica o una lavagna virtuale (presente in software come Zoom<sup>®</sup>, ad esempio).

## Capitolo 3

# Velocità, Moto Rettilineo Uniforme

In questa fase lo studente verrà guidato alla comprensione del concetto di velocità media e istantanea, e di legge oraria di un moto rettilineo uniforme attraverso alcune attività. Occorre che il percorso sia guidato, perché gli studenti di prima liceo affrontano per la prima volta questi argomenti e il *modus operandi* della fisica.

### 3.1 Engage

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale:** Liquidi di Differente Viscosità, Contenitori Trasparenti Identici, Biglie

L'insegnante mostra agli studenti la caduta di una biglia in diversi liquidi. È possibile eseguire questo esperimento sia in DAD, mostrando in telecamera i contenitori con i liquidi, sia in classe portando tutto il materiale occorrente. La scelta delle sostanze utilizzate è libera. L'unico criterio importante è che i liquidi abbiano viscosità sensibilmente diverse, poiché in questo modo la velocità della biglia all'interno del contenitore sarà visibilmente differente nei vari casi.

In questo progetto sono state scelte le seguenti sostanze: detersivo per i piatti, acqua e olio di semi; posti in tre contenitori di pari altezza, trasparenti e di forma il più possibile cilindrica (così da non avere effetti ottici di deformazione della biglia che cade) (Figura 3.1). Le biglie utilizzate devono essere tutte uguali tra loro per massa e dimensione.



Figura 3.1: I tre contenitori riempiti con i liquidi scelti per l'attività di engage sulla velocità: detersivo, acqua, olio di semi.

Prima di iniziare la fase operativa, il professore propone un gioco agli studenti, chiedendo loro di indovinare in quale liquido la biglia si muoverà più rapidamente. È importante che in questa fase e per tutto il resto del percorso didattico, il docente non utilizzi termini che si riferiscono a concetti che gli studenti non hanno mai affrontato prima. È necessario infatti che lo studente faccia esperienza dei significati ai quali questi termini fanno riferimento, prima che questi vengano introdotti. Questo vale in particolare quando i termini in questione trovano un utilizzo in contesti non scientifici [2]. Il professore dunque non parlerà mai di *velocità* durante la presentazione di questa attività, ma dirà ad esempio: “Riuscite a prevedere quale biglia percorrerà la *distanza* dalla sommità alla base del recipiente nell'*intervallo di tempo* minore?”, utilizzando i termini introdotti nella Sezione 2.3.

In seguito l'insegnante effettua l'esperimento davanti alla classe. Se l'esperienza viene mostrata in presenza, il professore può chiedere a tre studenti di lasciar cadere la biglia nei tre recipienti simultaneamente; in questo modo gli alunni saranno facilitati nell'osservare quale biglia giunge prima e quale dopo sul fondo del recipiente. Nel caso della DAD, le cadute verranno mostrate in successione, ma dovrà avere particolare cura di scegliere tre sostanze dalla viscosità molto diversa <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>È possibile scaricare il video della biglia che cade nel detersivo presso [questo indirizzo web](#). Lo stesso esperimento con acqua si può trovare [qui](#), e [qui](#) quello con olio di semi.

## 3.2 Explore

In questa fase il professore propone agli alunni diverse attività da svolgere a casa per arrivare a comprendere i concetti citati ad inizio Capitolo 3.

### 3.2.1 Dal Grafico al Moto

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale:** Nastro adesivo, Foglio di Carta

Per la prima attività l'insegnante mostra agli studenti un piano cartesiano su cui sono posizionati alcuni punti e i cui assi rappresentano spostamento e tempo (si veda la Figura 3.2). Successivamente egli inquadra con la telecamera

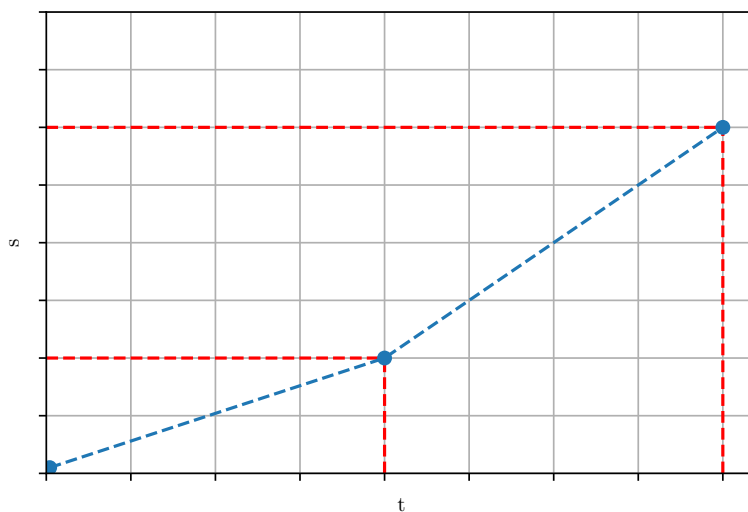


Figura 3.2: Grafico con punti per la prima attività cinestetica.

la sua mano poggiata sul bordo del tavolo di lavoro (come in Figura 3.3),



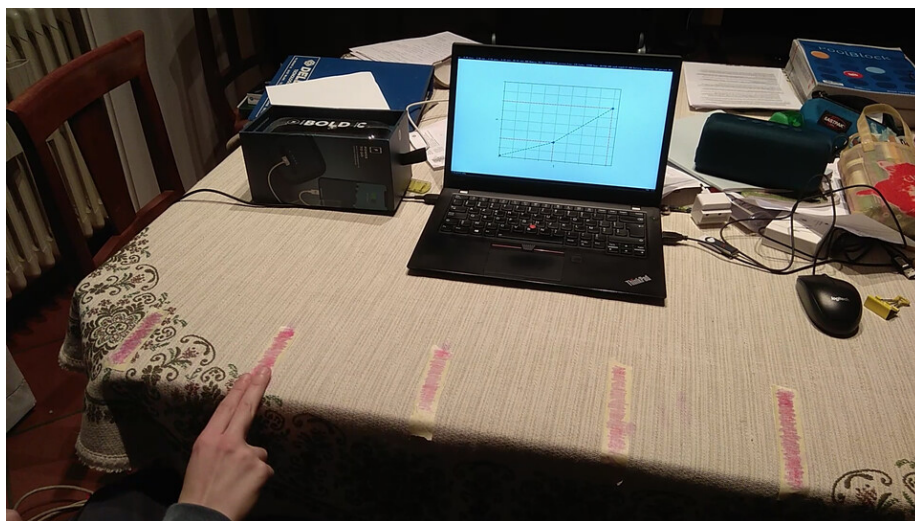


Figura 3.3: Una mano che si muove sul bordo del tavolo durante la prima attività cinestetica.

dove sono stati precedentemente incollati dei pezzi di nastro adesivo equidistanti tra loro (non è rilevante la lunghezza della distanza tra le strisce di nastro e può essere scelta arbitrariamente). A questo punto il docente muove la mano secondo quanto si legge nel grafico in Figura 3.2:<sup>2</sup> sia le posizioni occupate dalla mano che i tempi tra un movimento e l'altro devono qualitativamente rispettare le informazioni presenti nel grafico. I riferimenti posti sul tavolo aiutano a mantenere le corrette proporzioni. Inoltre, potrebbe essere utile un dispositivo che aiuti a scandire il tempo, quale per esempio un metronomo. Nel caso in cui sia possibile la didattica in presenza, l'attività verrà mostrata disegnando il grafico alla lavagna e poggiando la mano sul bordo della cattedra. Il professore mostra la medesima attività, usando un paio di grafici più complessi, in cui non vi sono più solo dei punti, ma delle curve (vedi Figura 3.4). Viene chiesto agli studenti di ripetere a casa l'attività usando nuovi grafici analoghi (si veda l'Appendice A) e riprendendo per ciascuno la propria mano in movimento. Nella consegna viene richiesto anche di scegliere uno dei grafici e di esporre per iscritto il moto osservato della propria mano.

<sup>2</sup>È possibile scaricare i video dell'attività cinestetica presso [questo indirizzo web](#). Si veda per questo particolare esempio il file `vid_plot_1_scale.mp4`.

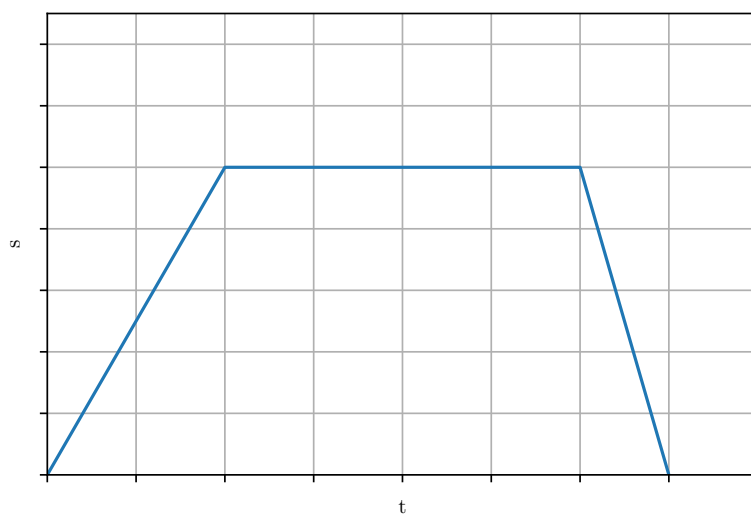
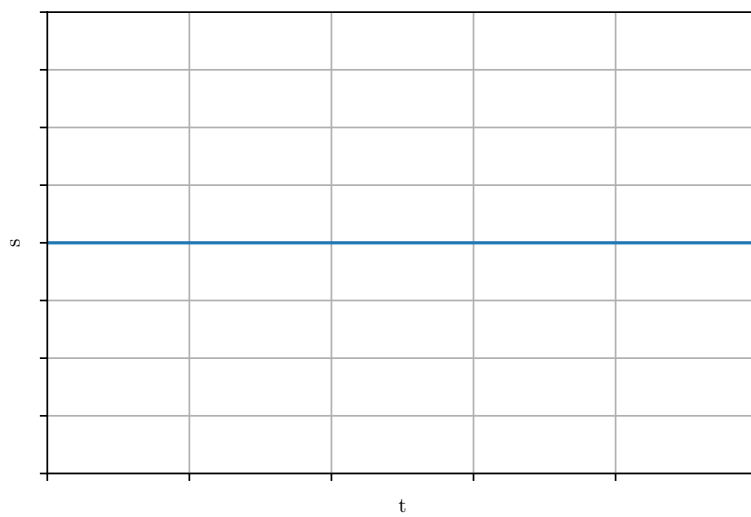


Figura 3.4: Grafici con spezzate per la prima attività cinestetica.

### 3.2.2 Dal Moto al Grafico

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale:** Nastro adesivo, Foglio di Carta

La seconda attività proposta agli studenti consiste nello svolgere il procedimento opposto rispetto all'attività precedente. Il professore presenta agli studenti dei video che mostrano alcuni moti della sua mano lungo il bordo del tavolo (un minimo di tre) e chiede loro di graficarli. In questo modo ciascuno studente può concentrarsi sul moto del corpo, comprendendo più approfonditamente la relazione tra il moto della mano e cosa viene riportato sul grafico<sup>3</sup>. In caso fosse possibile lavorare in classe, il moto rappresentato sui grafici può essere riprodotto dagli studenti con il proprio corpo, camminando in linea retta. Utilizzando un sensore di prossimità, è possibile controllare in tempo reale i movimenti degli studenti e appurare che il loro moto sia attinente a quello riportato nel grafico.

### 3.2.3 Velocità e Moto Rettilineo Uniforme

- **Tempo richiesto in aula:** 30'
- **Materiale:** Biglia, Contenitore Trasparente, Liquido, Cronometro, Righello

Il docente propone un'ultima attività che permetta agli studenti di osservare ed indagare un esempio di moto rettilineo uniforme. Una possibilità potrebbe essere quella di lasciar cadere una biglia all'interno di un contenitore trasparente riempito con una sostanza liquida (analogo a quello utilizzato nella Sezione 3.1, si veda Figura 3.1). Occorre che l'insegnante abbia le stesse accortezze discusse nella Sezione 3.1 e le espliciti ai suoi studenti. Inoltre si ritiene di fondamentale importanza la scelta del liquido, per questo l'insegnante deve verificare prima quale sia il più appropriato da suggerire agli studenti. Il criterio di scelta si basa sulla viscosità del liquido, la quale deve essere sufficiente affinché la biglia raggiunga una velocità prossima a quella limite molto rapidamente, proseguendo poi di moto uniforme (in prima approssimazione) lungo il resto del contenitore. Un esempio di sostanza potrebbe essere il detersivo per i piatti. Agli alunni viene dunque chiesto di suddividere l'altezza del contenitore in intervalli spaziali uguali tra loro (per esempio marcandoli con un pennarello), e di misurare questi ultimi e i tempi necessari alla biglia per percorrere ciascun tratto<sup>4</sup>. Il docente chiede agli studenti di riportare in una tabella i dati misurati e di rappresentare il moto della biglia in un diagramma spazio-tempo, esplicitando che per compiere quest'ultima operazione sarà necessario sommare di volta in volta tutte le distanze percorse dalla biglia fino alla posizione di interesse. Lo stesso vale per gli intervalli di tempo. Questa attività è spendibile sia in DAD che in classe. In

<sup>3</sup>Esempi di moti sono mostrati nei video presso [questa pagina web](#).

<sup>4</sup>È possibile scaricare il video dell'esperimento presso [questo indirizzo web](#).

questo secondo scenario gli studenti vengono divisi in gruppi di tre per svolgere l'esperimento.

### 3.3 Explain

- **Tempo richiesto in aula:** 40' di discussione tra studenti + 60' di dialogo con il docente

Dopo che gli studenti hanno svolto tutte le attività proposte, occorre un confronto con l'insegnante e con i propri compagni di classe su quanto osservato. A questo scopo la classe viene divisa in gruppi di cinque, nei quali gli studenti hanno il tempo di discutere e confrontare i risultati degli esercizi svolti. Questo primo confronto coinvolge le prime due attività. Dopo circa mezz'ora l'insegnante riunisce tutti gli alunni e chiede ad un rappresentante di ciascun gruppo di presentare quanto emerso. Si presume che la maggior parte degli studenti riesca ad interpretare i grafici in relazione al movimento della mano: due spostamenti uguali percorsi in intervalli di tempo di durata diversa corrispondono ad un movimento più rapido se il periodo di tempo è minore e più lento se è maggiore; osservazioni analoghe possono essere fatte fissando l'intervallo di tempo e osservando spostamenti diversi. A questo punto dovrebbe essere chiaro agli studenti che le grandezze in gioco -che influenzano la rapidità del movimento della mano- sono la distanza compiuta e l'intervallo di tempo impiegato per compierla. Viene chiesto agli studenti di provare ad ipotizzare quale potrebbe essere l'espressione matematica che meglio descrive questa relazione. Una possibile ipotesi è che essa sia data dal prodotto tra la distanza e il tempo impiegato per percorrerla. Il docente tuttavia può far notare che in tal caso non sarebbe possibile che un uguale aumento della distanza e del tempo impiegato non portino variazione nella rapidità, mentre è possibile osservarlo nei grafici. Si ritiene, invece, che pochi alunni possano ipotizzare che la relazione cercata sia data dalla somma o dalla differenza. Nel caso accada, il professore guida i ragazzi nel comprendere che non ha senso sommare grandezze fisiche diverse (si può osservare anche dalle unità di misura). Infine, si ritiene che qualche studente giunga alla risposta corretta, ovvero che la relazione sia data dal rapporto tra distanza e intervallo di tempo impiegato. Questo risulta essere ragionevole, anche perché il rapporto è l'operazione di confronto tra due quantità. Grazie al lavoro fatto nel Capitolo 2, gli studenti sanno che sia la distanza che l'intervallo di tempo sono dati da una differenza di posizione nel primo caso e di tempo nel secondo. Allora l'espressione che si ottiene è la seguente:

$$\text{velocità media} = \frac{\text{distanza}}{\text{intervallo di tempo}} = \frac{s_f - s_i}{t_f - t_i} \quad (3.1)$$

Il professore riporta all'attenzione degli studenti i grafici delle spezzate e chiede loro quale sia la differenza tra ciascun tratto. Alcuni studenti saranno in grado di rispondere che si tratta della pendenza, altri forse saranno più specifici e useranno il termine coefficiente angolare. Si ritiene possibile che qualche studente noti che l'espressione della velocità media appena incontrata corrisponda

al coefficiente angolare di ciascun segmento; altrimenti l'insegnante li guiderà in questo confronto. Dopo aver analizzato in profondità le prime due attività e aver dedotto il concetto di velocità media, si lavora sull'ultima attività proposta: la caduta di una biglia nel detersivo. Anche in questo caso si lasciano ai gruppi venti minuti per confrontarsi sui dati raccolti <sup>5</sup>. Successivamente si inizia un dialogo con il docente, riportando quanto osservato. La maggior parte dei gruppi dovrebbe concludere che la biglia impiega tempi simili a percorrere ciascun tratto, ovvero che tratti uguali vengono percorsi in tempi uguali. Grazie al lavoro precedente, gli studenti possono affermare che la velocità media risulta essere uguale per ciascun tratto. Questa ipotesi è supportata sia dal fatto che il grafico spostamento-tempo mostra che tutti i segmenti disegnati hanno la stessa pendenza, sia dal fatto che ora gli studenti sono in grado di calcolare la velocità media per ciascuna coppia distanza-intervallo di tempo. L'insegnante fa notare che le velocità medie sono uguali nei diversi tratti, nonostante il numero di tratti scelto possa variare da studente a studente. Questo può portare ad ipotizzare che tale osservazione rimarrebbe vera anche con un numero elevato di tratti. Il docente allora è giustificato nel definire questo tipo di moto *uniforme* <sup>6</sup>. Infine, è importante far osservare agli alunni che la biglia cade verticalmente. Si potrebbe affermare che tracci una retta verticale. Dunque il moto è definito come *rettilineo uniforme*. Questa fase si conclude con la scoperta della legge oraria di tale moto. Il professore chiede ai ragazzi di trovare l'espressione della velocità media per ciascun tratto percorso dalla biglia. Successivamente li guida nell'invertire ciascuna espressione così da ottenere i relativi spostamenti:

$$\Delta s_1 = v_m \Delta t_1 \quad (3.2)$$

$$\Delta s_2 = v_m \Delta t_2 \quad (3.3)$$

$$\Delta s_3 = v_m \Delta t_3 \quad (3.4)$$

$$\Delta s_4 = v_m \Delta t_4 \quad (3.5)$$

L'insegnante utilizza le espressioni degli spostamenti di ciascun tratto per far notare che differiscono solo per l'indice, che indica il tratto di riferimento, mentre la velocità  $v_m$  è sempre la stessa. È dunque possibile giungere ad una espressione generale:  $\Delta s = v \Delta t$ , dove  $\Delta s$  è la differenza tra posizione finale e posizione iniziale. Infine si ottiene la legge oraria del moto rettilineo uniforme esplicitando la posizione finale:

$$s = s_0 + v(t - t_0) \quad (3.6)$$

---

<sup>5</sup>I risultati dell'analisi dati di questo esperimento, svolto nell'ambito di questo progetto, sono presentati nell'Appendice B.

<sup>6</sup>In effetti un moto uniforme è tale se la velocità è costante in ogni istante di tempo. Occorrerebbero, dunque, infiniti tratti. Ma l'approssimazione di un numero elevato di tratti è sufficiente per quanto discusso in questa fase, dove ancora non si è affrontato il concetto di velocità istantanea.

### 3.4 Extend

- **Tempo richiesto in aula:** 20' di discussione tra studenti + 30' di dialogo con il docente
- **Materiale:** Computer

In questa fase si propone che lo studente estenda la propria conoscenza riguardo la velocità, introducendo l'idea di *velocità istantanea*. Uno studente di 1<sup>a</sup> liceo scientifico non dispone degli strumenti matematici necessari per comprendere la definizione di velocità istantanea, che richiederebbe il concetto di *limite* e di *derivata*. Egli tuttavia, sulla base dei concetti introdotti nelle fasi precedenti, può acquisire una conoscenza intuitiva dell'operazione di limite, che permette il passaggio dalla velocità media alla velocità istantanea.

Il docente per aiutare lo studente a comprendere questa idea, mostra un video di un corpo in caduta libera. Per questo progetto si è scelto un estratto del lancio di Felix Baumgartner da un pallone aerostatico nella stratosfera <sup>7</sup>. L'insegnante chiede agli studenti di descrivere cosa accade nel video, concentrandosi in particolare sulla velocità di Felix in caduta libera. Gli studenti potranno osservare che dopo il lancio la velocità dell'astronauta aumenta rapidamente e dunque non rimane costante come nel caso della biglia che cade in un fluido molto viscoso. Gli studenti potrebbero utilizzare frasi come “L'astronauta cade sempre più velocemente” oppure “L'astronauta parte lentamente e poi va più veloce”. Il professore dovrebbe porre l'attenzione della classe sulle risposte più simili alla prima affermazione. Quest'ultima infatti evidenzia che *in ogni istante* la velocità dell'astronauta in caduta sta cambiando (e nel caso particolare aumenta). Il professore aiuta gli studenti a giungere ad una comprensione più lucida di questa realizzazione, assegnando un'attività da svolgere a casa mediante il software *GeoGebra* <sup>8</sup>. A tale scopo egli mostra alla classe alcune funzionalità base del software. Egli disegna con il programma un ramo di parabola con concavità verso il basso e lo mostra agli studenti (si veda la Figura 3.5), chiedendo di immaginare che questo grafico rappresenti il moto di Felix nella stratosfera.

---

<sup>7</sup>È possibile scaricare l'estratto del video presso [questo indirizzo web](#). L'indirizzo del video originale si trova nei Riferimenti [8].

<sup>8</sup>GeoGebra è una suite *Free Software* di programmi per la didattica della matematica disponibile per iOS, Android, GNU/Linux, Windows, Mac OS, Chromebook. Per maggiori informazioni, si visiti [questo sito web](#).

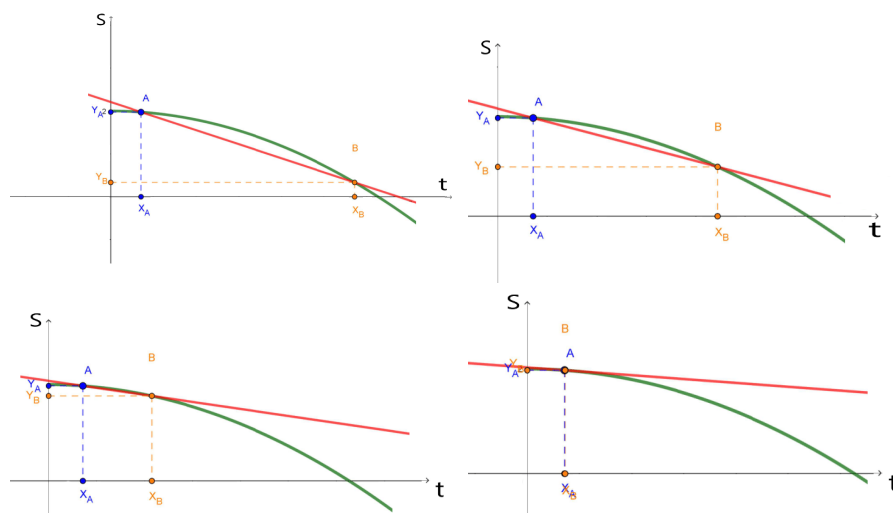


Figura 3.5: Rami di parabola disegnati con GeoGebra.

La scala sugli assi non è importante e neppure che gli studenti sappiano quale curva è rappresentata nel grafico. Il professore chiede agli studenti di concentrarsi su un tratto arbitrario della caduta di Felix e di figurarlo nella propria mente. Sceglie quindi due punti della curva e li rappresenta grazie al software, indicando agli studenti come fare. Infine mostra la possibilità di spostare i punti lungo la curva tramite l'utilizzo della funzionalità *slider*. In seguito il docente domanda agli studenti: “Come si potrebbe rappresentare sul grafico la velocità media dell’astronauta in questo preciso tratto, compreso tra i punti A e B?” e ancora “Cosa accade se provo a muovere il punto B, tenendo fissato il punto A?”. Ogni alunno deve provare a rispondere individualmente a queste domande, come compito per casa, utilizzando GeoGebra. L’insegnante invia agli studenti il file progetto contenente la curva mostrata in classe; In questo modo tutti gli studenti possono ragionare sul problema da un punto di partenza comune. Tornati in classe, gli studenti vengono suddivisi in gruppi di cinque per confrontarsi sui risultati ottenuti <sup>9</sup>. L’insegnante monitora gli studenti o reca il suo aiuto nel caso di eventuali difficoltà, visitando le diverse aule virtuali (o girando tra i banchi). Dopo questa prima fase, la classe si riunisce e un portavoce per gruppo presenta quanto osservato. Si suppone che gli studenti, in virtù di quanto appreso nella Sezione 3.3, sappiano indicare al professore che, per rappresentare la velocità media, occorre disegnare una retta che congiunga i due punti presi in considerazione. Il docente rappresenta questo risultato con GeoGebra e domanda agli studenti che cosa hanno scoperto modificando la durata dell’intervallo di tempo tra i due punti. Si presume che qualche alunno abbia osservato che

<sup>9</sup>In modalità DAD gli studenti possono condividere lo schermo per mostrare ai propri compagni il risultato ottenuto, mentre in presenza viene chiesto loro di stampare immagini che mostrino alcune fasi successive del loro lavoro.

la pendenza della retta secante varia al variare della posizione del punto B rispetto al punto A, che rimane fisso. L'insegnante quindi tramite lo slider sposta il punto B sul grafico per mostrare quanto discusso, fino ad avvicinarlo il più possibile al punto A <sup>10</sup> (come si vede nella Figura 3.5). Il docente suggerisce agli studenti che ora la retta rappresentata nel grafico è la retta tangente alla curva nel punto A, e chiede agli studenti se questa possa ancora rappresentare una velocità media. Gli studenti, guidati al caso limite dalla retta secante alla retta tangente, hanno ora la possibilità di realizzare che il coefficiente angolare di quest'ultima rappresenta la velocità media corrispondente ad un intervallo di tempo di durata *zero* secondi, ovvero la “*velocità media di un istante*”. Il docente ufficializza la conoscenza acquisita, spiegando che questa grandezza è chiamata *velocità istantanea* o più semplicemente *velocità*.

### 3.5 Evaluate

Per la valutazione di questo secondo modulo del percorso il docente tiene conto della partecipazione degli studenti alle varie attività proposte a casa e in classe, del lavoro svolto sui grafici e i video richiesti, e del loro coinvolgimento attivo all'interno dei gruppi di discussione. Si terrà conto anche di una prova scritta da sottoporre agli studenti alla fine del percorso (si veda l'Appendice C).

---

<sup>10</sup>Non è possibile sovrapporre perfettamente i punti A e B senza che la retta secante risulti indefinita per il programma. Tuttavia, i punti possono essere avvicinati fino a non poterne più apprezzare la distanza.



## Capitolo 4

# Accelerazione, Moto Rettilineo Uniformemente Accelerato

Nel presente modulo lo studente familiarizza con il concetto di accelerazione media e con un caso particolare della legge oraria del moto uniformemente accelerato. Infine egli giunge ad una comprensione più profonda della differenza tra accelerazione e velocità.

### 4.1 Engage

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale:** Computer

Il professore mostra agli studenti dei video interessanti di moti uniformemente accelerati. Nel contesto di questo progetto si suggerisce di riprodurre un filmato in cui viene mostrata la caduta di un martello e di una piuma in ambiente lunare (Figura 4.1) <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>È possibile scaricare i video utilizzati in questo engage: [indirizzo primo video](#), [indirizzo secondo video](#). I link ai video originali si trovano nei riferimenti [1] [7].



Figura 4.1: Un fotogramma del video di un astronauta sulla Luna che lascia cadere un martello e una piuma.

Il docente interrompe il filmato nell'istante precedente alla caduta e domanda agli studenti che cosa si aspettano accada. Si presume che gli studenti non prevedano che gli oggetti arrivino al suolo insieme. Un secondo filmato in slow motion riproduce la stessa esperienza nell'ambiente controllato di un laboratorio, permettendo agli studenti di poter apprezzare maggiormente il moto descritto.

Questa attività cattura l'attenzione degli studenti e consente al docente di dirigere la curiosità dei propri alunni sui moti accelerati.

## 4.2 Explore

In questa fase il professore propone agli alunni diverse attività da svolgere a casa per arrivare alla comprensione dei concetti citati ad inizio Capitolo 4.

### 4.2.1 Moto di un Corpo su un Piano Inclinato

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale:** Bicicletta/Skateboard/Monopattino; Cronometro, Nastro Adesivo, Bindella.

Il professore chiede agli studenti di percorrere una rampa o una discesa il più possibile regolare per mezzo di una bicicletta (skateboard o monopattino), lungo la quale sono stati precedentemente applicati dei pezzi di nastro adesivo equidistanti tra loro (si veda la Figura 4.2).



Figura 4.2: Un esempio di discesa regolare sulla quale è stata fissata una scala indicandola con dei pezzi di nastro adesivo.

Lo studente dovrà misurare con una bindella (o strumenti analoghi) la distanza tra le strisce e con un cronometro gli intervalli di tempo che egli impiega per percorrere ciascun tratto, riportando le misure in una tabella. Il docente sottolinea l'importanza di partire da fermi alla sommità della discesa, e per guidare gli studenti mostra alla classe un filmato dell'esperimento, realizzato da lui stesso in precedenza <sup>2</sup>.

#### 4.2.2 Dal Moto al Grafico delle Velocità Medie

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale:** Foglio, Righello

La presente attività si basa sulla precedente. L'insegnante chiede agli studenti di disegnare un grafico che rappresenti sull'asse delle ascisse la successione dei tratti (tratto 1, tratto 2 ... tratto N) definiti dalle strisce di nastro adesivo applicate alla rampa (la grandezza rappresentata sull'asse sarà dunque un numero puro) e in ordinata le velocità medie corrispondenti ai suddetti tratti. L'obiettivo di questa attività è di far notare agli studenti che le velocità variano e non restano costanti (come nell'esperimento della biglia) e di permettere

---

<sup>2</sup>Un esempio di video può essere scaricato presso [questo indirizzo web](#).

di osservare la natura di tale variazione. Il professore disegna alla lavagna un esempio del grafico che gli studenti dovranno ottenere e ascolta le domande degli studenti in merito.

### 4.2.3 Dal Moto al Grafico dello Spostamento in Funzione del Tempo

- **Tempo richiesto in aula:** 15'
- **Materiale:** Foglio, Righello

L'ultima attività proposta consiste nel realizzare un ulteriore grafico: occorre riportare su un piano posizione-tempo le posizioni dei pezzi di nastro adesivo sulla rampa e i rispettivi istanti di tempo ai quali essi sono stati attarversati dalla bicicletta. L'insegnante chiarisce che la posizione di ciascun pezzo di nastro è ottenuta sommando le distanze percorse precedentemente e che i tempi corrispondenti sono a loro volta somma degli intervalli di tempo precedenti. Inoltre è richiesto di provare a collegare questi punti tra loro sul grafico, immaginando come si possa essere svolto il moto tra una misura e l'altra. Il Professore non svela agli studenti come svolgere quest'ultima attività, in quanto desidera che essi riflettano sull'esperienza sensoriale provata durante l'esperimento, focalizzandosi sul moto in ciascun tratto e nel suo insieme.

### 4.2.4 Attività Bonus

Qualora la lezione si svolga in presenza, un'attività aggiuntiva da proporre potrebbe essere la discesa di un carrello lungo un piano inclinato alla cui base è presente un sensore di prossimità. Quest'ultimo è programmato per misurare con una certa frequenza lo spazio percorso. Il fenomeno fisico in analisi è analogo a quello della bicicletta sulla rampa, ma in questo caso vengono fissati gli intervalli di tempo, focalizzando l'attenzione degli studenti sulla variazione delle distanze percorse nei diversi tratti.

## 4.3 Explain

- **Tempo richiesto in aula:** 100'
- **Materiale:** Computer

Dopo che gli studenti hanno svolto tutte le attività proposte, occorre un confronto con l'insegnante e con i propri compagni di classe su quanto osservato. Nel corso di tale confronto il professore deve premurarsi di utilizzare un software versatile, per disegnare in tempo reale sui diagrammi ottenuti nelle attività precedenti gli elementi grafici proposti dagli studenti<sup>3</sup>. Inizialmente il professore

---

<sup>3</sup>Nell'ambito di questo progetto si è utilizzato il *Free Software JupyterLab* con la libreria *Matplotlib*. Altri software, come *GeoGebra* o *Desmos* sono scelte valide.

chiede di descrivere i grafici ottenuti per le velocità medie dei diversi tratti del percorso (si vede un esempio di quello che gli studenti dovrebbero ottenere nella Figura 4.3).

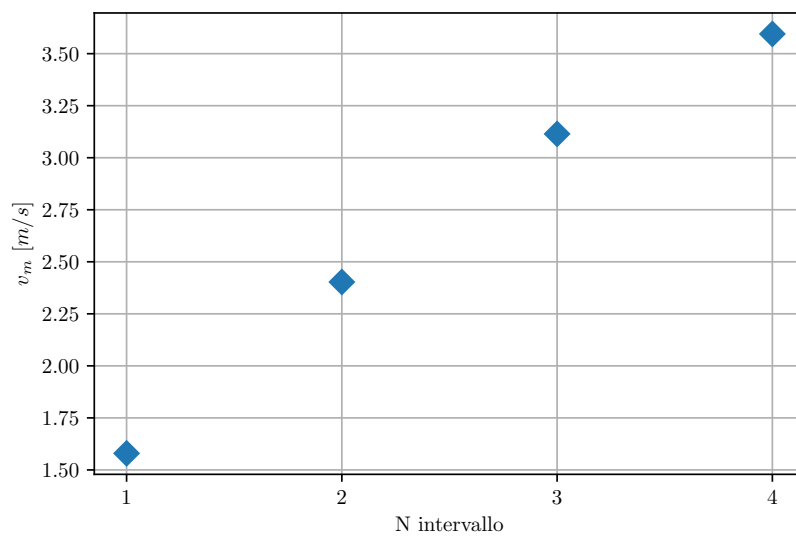


Figura 4.3: Il grafico delle velocità medie per i tratti della discesa in funzione del numero del tratto.

Si ritiene che la quasi totalità degli studenti osservi una variazione delle velocità medie nei diversi tratti. In particolare si dovrebbe notare un aumento della velocità, supportato dall'esperienza sensoriale provata durante la discesa. La letteratura riporta che lo *speeding up*, ovvero l'aumento della velocità, risulta intuitivo agli studenti [11]; per questo motivo si è scelto un esperimento *embodied*. Il docente, quindi, domanda alla classe se vi è una relazione particolare tra i punti graficati: alcuni studenti potrebbero notare che in prima approssimazione giacciono su una retta obliqua, in caso contrario è il professore stesso ad indicarlo. Già in questa fase gli studenti potrebbero dedurre che il moto in analisi non è rettilineo uniforme, poiché la retta non è orizzontale come quella incontrata nel Capitolo 3, indicando che la velocità non rimane costante.

Successivamente si considera il secondo grafico relativo allo spostamento in funzione del tempo. Il docente chiede ai ragazzi di mostrare come hanno collegato i punti successivi del grafico. Si suppone che qualche studente abbia tracciato delle spezzate che congiungono i vari punti, in caso contrario è il docente a disegnare un grafico di questo tipo. L'insegnante conduce gli studenti a riflettere sul fatto che, poiché ciascun segmento ha una propria pendenza, significa che la velocità dovrebbe essere uniforme nel tratto considerato, e dovrebbe invece cambiare valore nel tratto successivo. Gli studenti realizzano che quanto osser-

vato implicherebbe che la velocità cambi *senza continuità* ad ogni volta che si attraversa un pezzo di nastro adesivo, ma questo non corrisponde con quanto provato durante l'attività. Il professore può guidare gli studenti ponendo una domanda come "Ogni volta che incontravate un pezzo di nastro adesivo lungo il percorso sentivate un sobbalzo o uno strappo? Oppure vi sembrava che anche in questi punti il moto fosse regolare?". L'ipotesi della spezzata fallisce nel descrivere il moto studiato, dunque il professore deve guidare gli studenti alla scoperta di quale sia una funzione più adatta. A questo scopo egli chiede agli alunni di provare a prevedere la posizione corrispondente agli istanti che si trovano a metà di ogni intervallo di tempo. Si presume che essi provino a posizionare i punti vicino al segmento corrispondente della spezzata e non su di essa, poiché si è appurato essere una soluzione non adatta. Il docente successivamente mostra ai ragazzi i punti da lui disegnati, che si basano sull'analisi dei dati ottenuti durante il precedente svolgimento dell'attività in prima persona (Appendice B). Egli in seguito reitera il procedimento 4.4. In questo modo emerge sempre più correttamente l'andamento del grafico dello spostamento in funzione del tempo.

Alla classe viene chiesto di ipotizzare l'equazione che meglio descrive tale andamento, ovvero la legge oraria di questo moto. È plausibile che uno dei primi tentativi sia della forma:

$$s(t) = kt \quad (4.1)$$

dove  $k$  è un parametro, che può essere scelto da ciascuno studente <sup>4</sup>. Il professore grafica tale funzione con l'utilizzo del software, imponendo come coefficiente di proporzionalità  $k$  quelli suggeriti dalla classe. Gli studenti noteranno immediatamente che la retta non è una buona scelta. Il professore rafforza questa convinzione, ricordando alla classe dello *speeding up* percepito durante la discesa. La seconda ipotesi più semplice dovrebbe essere quella di un'espressione quadratica:

$$s(t) = kt^2 \quad (4.2)$$

dove  $k$  è ancora un parametro <sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup>Tale espressione dovrebbe essere ben nota agli studenti in quanto rappresenta la più semplice relazione di proporzionalità diretta tra spostamento e tempo. Di conseguenza è anche noto che il grafico corrispondente è una retta.

<sup>5</sup>Non occorre che lo studente arrivi ad ipotizzare un polinomio di secondo grado generico, poiché il termine lineare e quello noto risultano nulli per le condizioni dell'attività svolta. Infatti, il corpo parte da fermo e si prende come origine la posizione di partenza.

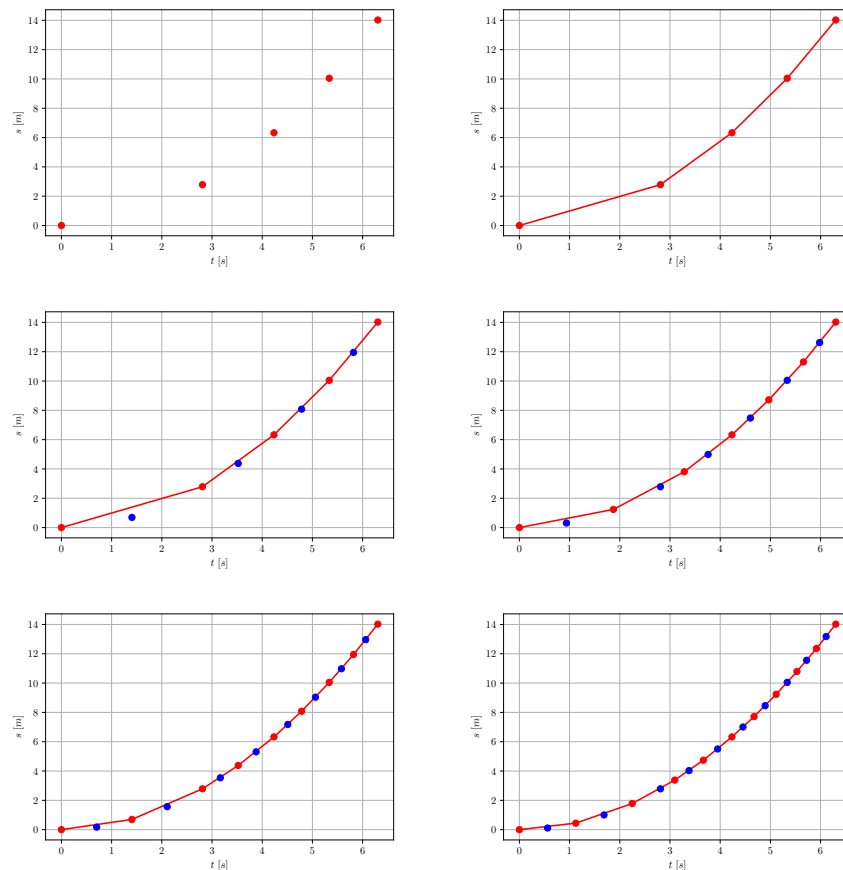


Figura 4.4: Un esempio di sequenza di grafici utilizzati dal professore per aiutare gli studenti a comprendere quale sia la curva che meglio rappresenta il moto della bicicletta sulla rampa.

Qualora durante la discussione non emerga da parte degli studenti l'intuizione di considerare un'espressione quadratica, è il docente stesso a suggerirla, ricordando agli studenti tutte le relazioni matematiche che essi conoscono e graficando alcune di esse per confrontarle con l'andamento di interesse. Questo serve ad escludere quelle espressioni che comportano una decrescita nel tempo (come  $s(t) = \frac{1}{t}$ ). Occorre che l'insegnante tracci il grafico della potenza quadratica con il software, poichè lo studente non ne ha una conoscenza pregressa.

A questo punto è necessario che il professore chieda agli studenti di capire quale possa essere il valore del coefficiente  $k$  che meglio descriva i dati. Si ritiene che questa fase di ricerca sia utile agli studenti per comprendere come si modifica il grafico al variare di tale parametro. Dopo alcune ipotesi, è il professore a mostrare la curva che meglio descrive l'andamento: la curva ottenuta fissando

$k$  al valore ricavato a partire dall'analisi dati.

Nell'ultima parte della lezione si desidera che gli studenti comprendano il significato fisico del parametro  $k$  (a meno di una costante moltiplicativa). L'insegnante riconduce l'attenzione dei ragazzi al grafico delle velocità medie in funzione dei tratti successivi (Figura 4.3). In particolare egli mostra nuovamente che i punti giacciono su una retta. Questo significa che, prese le due velocità medie di due tratti successivi, la loro differenza rimane *costante* qualsiasi sia la coppia di tratti scelti. Gli studenti iniziano ad intuire che vi è una grandezza costante che descrive la variazione della velocità. Successivamente alla classe viene ricordato che il grafico dello spostamento in funzione del tempo trascorso è stato ottenuto a partire da una spezzata, infittendo sempre più i suoi punti. Si può dunque far notare agli alunni che, avendo ciascun segmento una determinata pendenza (e quindi un preciso valore di velocità media), la velocità media varia negli intervalli di tempo successivi. Per analogia a quanto svolto nel Capitolo 3, questa variazione della velocità nel tempo corrisponde ad una grandezza fisica: l'*accelerazione media*. Essa corrisponde all'incremento medio delle velocità nei tratti. Il professore può trarre due conclusioni: il coefficiente del termine di secondo grado corrisponde all'accelerazione media, a meno di un fattore  $\frac{1}{2}$ <sup>6</sup> ed essa rimane costante durante il moto. Quest'ultima caratteristica permette all'insegnante di definire il moto analizzato come *uniformemente accelerato*.

## 4.4 Extend

- **Tempo richiesto in aula:** 30' di discussione tra studenti + 20' di dialogo con il docente.
- **Materiale:** Smartphone, Computer, Oggetti domestici

In questa fase si desidera che lo studente estenda la sua consapevolezza riguardo il concetto di accelerazione. La letteratura documenta una difficoltà in una frazione significativa degli studenti nel distinguere velocità e accelerazione. Tale difficoltà si manifesta in particolare nello studio del fenomeno conosciuto come *Top of the Flight*, o in generale in tutti i casi nei quali si verifica che la velocità istantanea sia nulla e contemporaneamente l'accelerazione non lo sia [2] [11].

Gli studenti hanno già fatto esperienza di questa situazione nella Sezione 4.3, durante l'analisi dell'esperimento della bicicletta che scende da una rampa. Quando la bicicletta si trova ferma in cima alla rampa e inizia la sua discesa, per un solo istante (quello iniziale) la sua velocità è nulla, mentre la sua accelerazione ha un valore non nullo, che rimarrà costante lungo tutta la discesa.

L'insegnante presenta alla classe un surrogato in scala dell'esperimento della bicicletta, perché possa essere studiato con l'applicazione per smartphone

---

<sup>6</sup>Il docente può lasciare non chiarito il motivo di questo fattore  $\frac{1}{2}$ , mentre può supportare la corrispondenza tra il coefficiente  $k$  e l'accelerazione media facendo ragionare i ragazzi sulle unità di misura delle grandezze nell'equazione:  $s(t) = kt^2$ .



*Phyphox* <sup>7</sup>. In principio il docente presenta agli studenti l'app, mostrando loro dove reperirla e le sue funzioni, in particolare lo strumento di misura *Acceleration (Without g)* (Figura 4.5) e la funzione *Save experiment state*. L'insegnante dovrebbe mostrare un rapido ma efficace esempio pratico di utilizzo di questo strumento, per esempio attivando la funzione di registrazione dati, lanciando in aria il telefono, riprendendolo al volo e mostrando il risultato agli studenti.

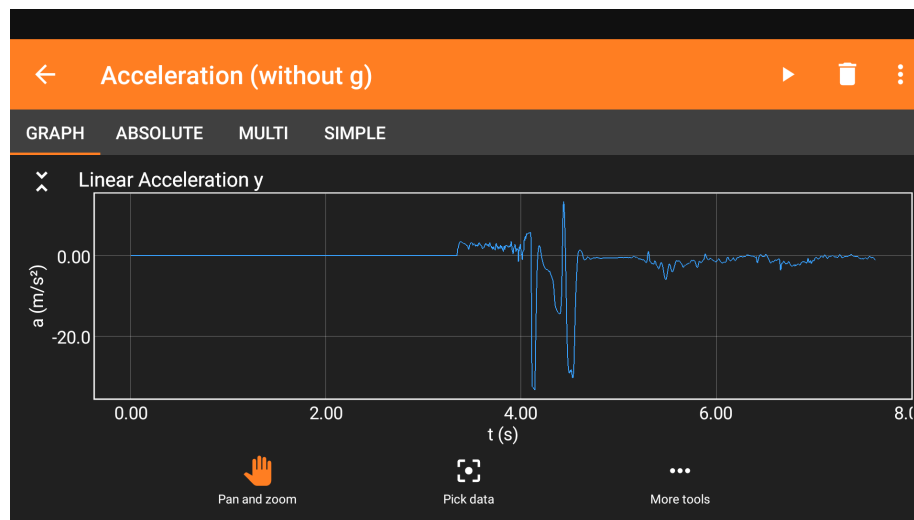


Figura 4.5: Uno *screenshot* della schermata dello strumento *Acceleration (Without g)* nell'applicazione Phyphox.

In seguito il professore assegna agli studenti un compito da eseguire a casa: indica loro di scegliere una superficie inclinata e priva di attrito <sup>8</sup>, e di farvi scivolare il telefono, attivando la registrazione dati dello strumento appena mostrato. Il compito di scegliere l'inclinazione del piano, il modo in cui collocare il telefono sopra di esso e altre osservazioni pratiche sono lasciate allo studente.

Durante la lezione successiva l'insegnante chiede agli studenti di condividere la loro esperienza riguardo l'esperimento compiuto a casa. A questo scopo egli divide la classe in gruppi di discussione di cinque persone e lascia agli studenti trenta minuti di tempo per confrontarsi sui risultati ottenuti. Deve essere lasciata agli studenti (anche in presenza) la possibilità di accendere il proprio smartphone e di mostrare ai propri compagni i dati registrati da Phyphox. Il professore si sposta tra i gruppi, monitorando la discussione. Egli eventualmente può stimolare gli studenti che si trovano in difficoltà nell'analizzare i grafici,

<sup>7</sup>Phyphox è un applicazione *Free Software* per dispositivi mobili (sistemi supportati Android e IOS) che trasforma il proprio smartphone in un piccolo laboratorio di fisica. Maggiori informazioni e documentazione sono reperibili presso [questa pagina web](#).

<sup>8</sup>Si ricorda che gli studenti di una classe di prima liceo non hanno familiarità con il concetto di attrito, dunque il professore dovrebbe utilizzare termini differenti come “Superficie inclinata e liscia”.

ponendo alcune domande: “Riuscite ad individuare nel grafico l’istante in cui il telefono è stato lasciato libero di scivolare?”, “Quanto vale l’accelerazione prima che il telefono inizi a scivolare?”, “Quanto vale l’accelerazione nell’istante in cui il telefono viene lasciato scivolare, ma è ancora fermo, ovvero la sua velocità vale zero? E mentre il telefono sta scivolando?”.

Al termine della discussione in ogni gruppo viene scelto un portavoce, che avrà il compito di condividere con il resto della classe e l’insegnante quanto osservato. Il docente dovrebbe aver riprodotto l’esperienza in precedenza, in modo da poter presentare agli studenti i propri risultati. Egli mostra il grafico prodotto da Phyphox in tempo reale durante l’esperimento e, se lo desidera, può aggiungerne un secondo, ottenuto esportando i propri dati nel formato preferito (grazie alla funzione *Export Data*) e analizzando questi ultimi con uno strumento di propria scelta <sup>9</sup>. Una possibile analisi è mostrata nella Figura 4.6.

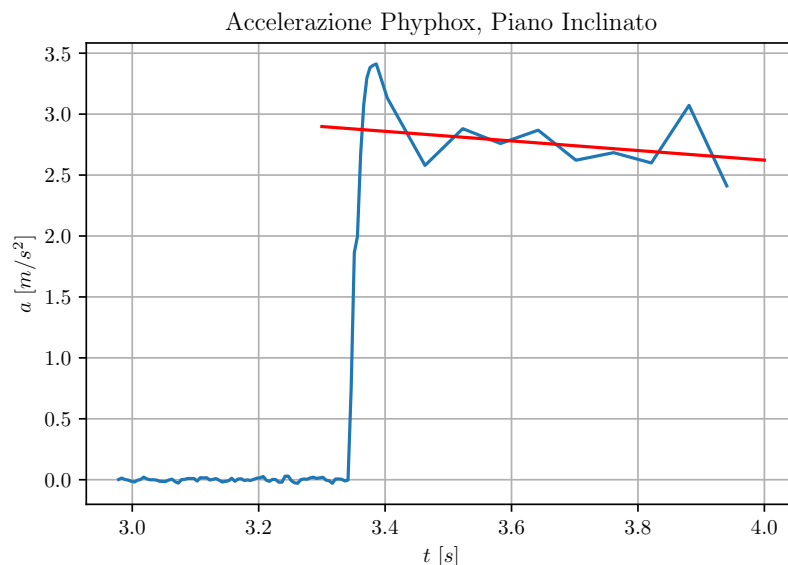


Figura 4.6: Il plot, realizzato con il modulo *Matplotlib* del linguaggio di programmazione *Python*, mostra l’accelerazione lungo il piano misurata da Phyphox. I dati sono stati mediati nel tempo per rimuovere il rumore e un fit lineare è stato eseguito sulla coda.

Si ritiene che parte degli studenti possa aver individuato correttamente l’istante nel quale il telefono viene lasciato scivolare e che alcuni di essi possano aver osservato che in quell’istante la velocità del telefono è ancora nulla. Se così non fosse, sarà il docente a suggerire alla classe queste valutazioni. Grazie

<sup>9</sup>Si ritiene che i grafici prodotti da Phyphox siano utili, in quanto di accesso immediato, ma che si possono ottenere diagrammi di più facile interpretazione con strumenti dedicati.

all'esperienza nel leggere grafici acquisita nei moduli precedenti, è plausibile che gli studenti abbiano notato che nel suddetto istante l'accelerazione passa a un valore non nullo partendo da un valore nullo all'istante precedente. Questo valore si mantiene costante (a meno di oscillazioni) per tutta la durata del moto sul piano inclinato. Il docente sottolinea quanto osservato dagli studenti, affermando che in effetti velocità e accelerazione sono grandezze ben distinte e un corpo avente velocità nulla in un certo istante non necessariamente deve avere accelerazione nulla nel medesimo.

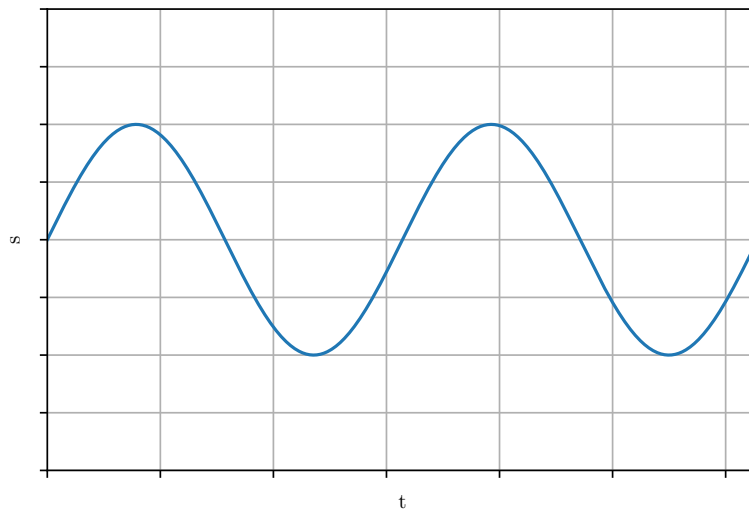
## 4.5 Evaluate

Per la valutazione di questo terzo modulo del percorso il docente tiene conto dell'impegno impiegato nello svolgere le attività assegnate come compiti a casa, del lavoro svolto sui grafici e sull'esperimento, e del coinvolgimento attivo nel dialogo con l'insegnante e la classe. Si terrà conto anche di una prova scritta da sottoporre agli studenti alla fine del percorso (si veda l'Appendice C).

## Appendice A

# Grafici per le Attività Cinestetiche

Sono qui presentati alcuni esempi di grafici che il docente può utilizzare per le attività cinestetiche.



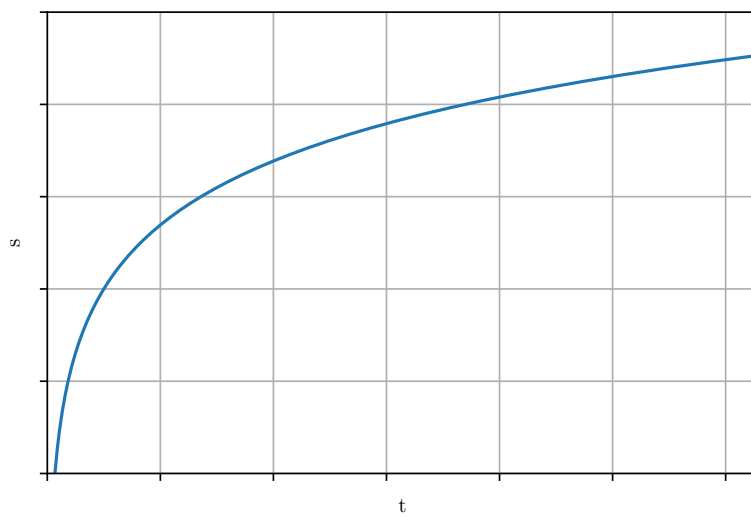


Figura A.1: Grafici di curve per le attività cinestetiche.

## Appendice B

# Analisi Dati

### B.1 Moto Rettilineo Uniforme

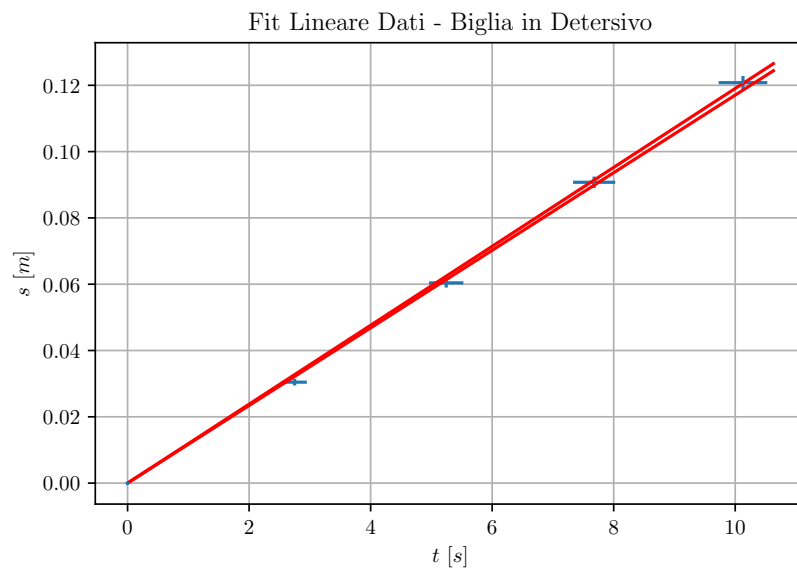


Figura B.1: Fit lineare dei dati per l'esperimento della biglia che cade nel detersivo, un esempio di moto rettilineo uniforme.

$v \text{ [m/s]}$
$0.01180 \pm 0.00010$

Tabella B.1: Valore atteso ed errore della velocità da fit con il metodo dei minimi quadrati.

## B.2 Moto Rettilineo Uniformemente Accelerato

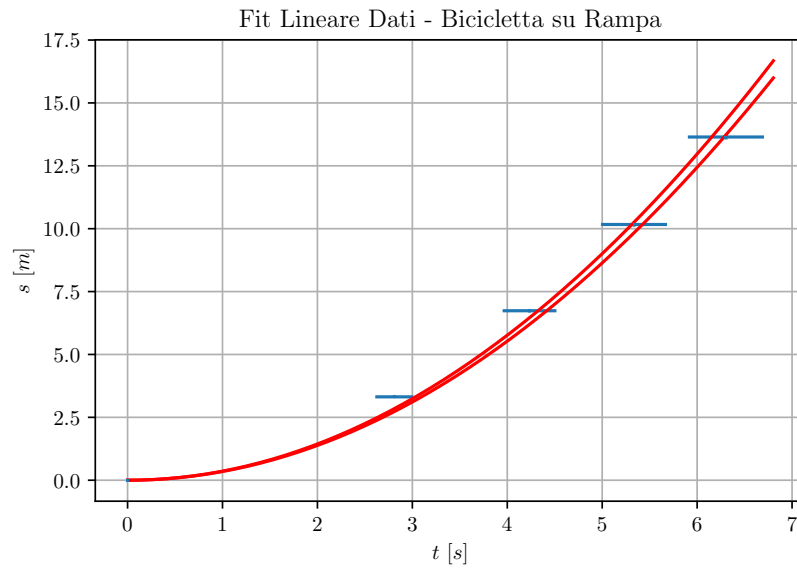


Figura B.2: Fit dei dati per l'esperimento della bicicletta che scende da una rampa, un esempio di moto rettilineo uniformemente accelerato.

$a \text{ [m/s}^2\text{]}$	$\theta \text{ [deg]}$	pendendenza [%]
$0.706 \pm 0.015$	$4.13 \pm 0.09$	$7.21 \pm 0.15$

Tabella B.2: Valore atteso ed errore dell'accelerazione, dell'angolo di inclinazione della rampa e della pendenza percentuale da fit con il metodo dei minimi quadrati.

## Appendice C

# Prova per gli Studenti

Nome: \_\_\_\_\_ Cognome: \_\_\_\_\_ Classe: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_  
Punteggio totale: \_\_\_\_\_ /100 Voto: \_\_\_\_\_ Durata: 2 h

### VERIFICA DI FISICA - INTRODUZIONE ALLA CINEMATICA

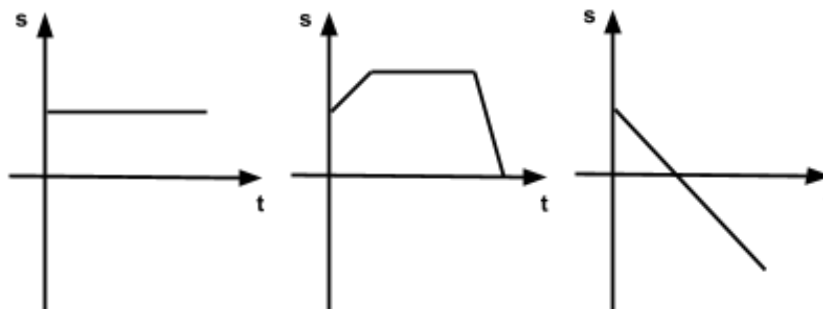
#### Esercizio 1

[40 punti]

1. Interpreta i seguenti grafici <sup>1</sup> che riportano lo spostamento di un corpo al passare del tempo, aiutandoti con il movimento della mano lungo il bordo del tavolo. Quest'ultimo rappresenta la linea retta su cui si sviluppa il moto. Descrivi i movimenti compiuti, focalizzando l'attenzione su eventuali rallentamenti, pause, cambi di direzione, etc.

**Suggerimento:** considerare il centro del bordo del tavolo come posizione zero così che a destra di questo riferimento vi siano le posizioni con valori positivi e a sinistra negativi.

[15 punti]



<sup>1</sup>Per il docente: i grafici hanno punteggi diversi a seconda della complessità. In questo caso si ritiene ragionevole assegnare 3 punti per il primo, 5 per il secondo e 7 per il terzo.



2. Definisci cosa si intende con il termine *velocità media* e come si ricava a partire da un grafico analogo ai precedenti (se ti è utile, descrivi prendendo in considerazione uno tra quelli assegnati). **[10 punti]**
3. Considera le velocità medie per ciascun tratto dei grafici e confrontale (qualitativamente) tra loro: in quale tratto la velocità media è massima? E minima? Perché? **[5 punti]**
4. I moti descritti possono essere considerati moti rettilinei uniformi? Perché? **[7 punti]**
5. Fai un esempio di moto rettilineo uniforme incontrato a lezione. **[3 punti]**

### Esercizio 2

**[20 punti]**

Due macchine A e B stanno viaggiando lungo la stessa autostrada. A si trova in posizione  $s = 2.4 \text{ km}$  all'istante di tempo  $t = 0 \text{ s}$  e mantiene una velocità uniforme pari a  $36 \text{ km/h}$ . B invece si trova in posizione  $s = 0 \text{ km}$  a  $t = 30$  minuti e mantiene una velocità uniforme pari a  $50 \text{ km/h}$ .

1. Disegna i grafici dei due moti sullo stesso diagramma *spostamento-tempo* (analogo a quelli dell'esercizio 1). **[10 punti]**
2. Si incontreranno le due macchine? Se sì, dove e quando? Risolvi sia utilizzando i grafici che la legge oraria del moto rettilineo uniforme incontrata in classe. **[10 punti]**

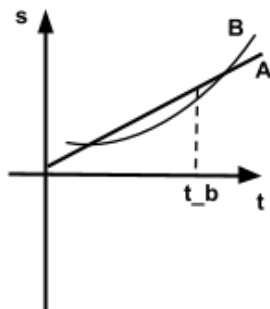
### Esercizio 3

**[30 punti]**

Descrivi l'attività della bicicletta (skateboard/monopattino) lungo una discesa che è stata svolta a casa e commentata in classe. Focalizza l'attenzione sia sulla realizzazione pratica che sui grafici discussi in classe. Questi ultimi riportali in modo qualitativo di seguito e spiega che cosa rappresentano e che informazioni utili ti danno.

**Esercizio Bonus**<sup>2</sup>**[10 punti]**

Il grafico mostra il moto di due palline A e B che rotolano una di fianco all'altra.



1. Segna sull'asse del tempo eventuali punti ( $t_a$ ) dove le due palline si superano a vicenda. **[2 punti]**
2. Determina quale pallina si muove più velocemente all'istante di tempo  $t_b$ . **[3 punti]**
3. Segna eventuali istanti di tempo dove le due palline hanno la stessa velocità. **[3 punti]**
4. Nell'intervallo di tempo mostrato nel grafico, la palla B sta: **[2 punti]**
  - *speeding up* tutto il tempo
  - rallentando tutto il tempo
  - *speeding up* una parte del tempo e rallentando un'altra

---

<sup>2</sup>Questo esercizio viene considerato solo se si è raggiunta la sufficienza nei precedenti.

# Riferimenti

- [1] AIRBOYD. Hammer vs feather - physics on the moon. <https://youtu.be/KDp1tiUsZw8>. Data consultazione: 2021-02-01.
- [2] Arnold B Arons and Edward F Redish. *Teaching introductory physics*. Wiley New York, 1997. Capitolo 2.
- [3] Robert J Beichner. Testing student interpretation of kinematics graphs. *American journal of Physics*, 62(8):750–762, 1994.
- [4] Carlo Bernardini, Carlo Tarsitani, and Matilde Vicentini. *Thinking physics for teaching*. Springer Science & Business Media, 2012. Capitolo 1.
- [5] Rodger W Bybee, Joseph A Taylor, April Gardner, Pamela Van Scotter, J Carlson Powell, Anne Westbrook, and Nancy Landes. The bscs 5e instructional model: Origins and effectiveness. *Colorado Springs, Co: BSCS*, 5:88–98, 2006.
- [6] fabry bel. Bigliardo show. <https://youtu.be/Q9nVNbUHykA>. Data consultazione: 2021-02-21.
- [7] David Leeper. Bowling ball and feathers dropped in air and then vacuum. <https://youtu.be/74MUjUj7bp8>. Data consultazione: 2021-02-01.
- [8] Adriano Lolli. La gopro supera il muro del suono in caduta libera da 39.045 metri. <https://youtu.be/JyHDaaXNDmA>. Data consultazione: 2021-02-06.
- [9] La Repubblica. Beirut, l'enorme esplosione investe l'uomo che sta girando il video: l'onda d'urto in soggettiva. <https://youtu.be/2-6N-F34M1w>. Data consultazione: 2021-02-21.
- [10] David E Trowbridge and Lillian C McDermott. Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American journal of Physics*, 48(12):1020–1028, 1980.
- [11] David E Trowbridge and Lillian C McDermott. Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American journal of Physics*, 49(3):242–253, 1981.