



Giovanna
Malegori

Liceo "G. Bagatta",
Desenzano del Garda

Il moto rettilineo uniforme in palestra

(Pervenuto il 27.2.2012, approvato il 18.10.2012)

ABSTRACT

An experiment on constant velocity that involves a whole class is described. Some pupils walk along a straight line while other pupils time their positions at fixed distances. The activity is performed in a gym using daily life materials and devices and requires less than one hour total time.

1. Introduzione

Di recente è stato pubblicato su *La Fisica nella Scuola* un articolo che presenta una ricca rassegna di esperienze sul moto rettilineo uniforme [1]. Caratteristiche comuni a tutte le attività proposte sono il basso costo di realizzazione, la semplicità costruttiva, i ridotti tempi di messa a punto e di esecuzione e la possibilità di un coinvolgimento diretto degli alunni non solo durante lo svolgimento delle esperienze ma anche nella loro preparazione.

Insegno da anni in un liceo scientifico tradizionale dove il moto rettilineo è argomento di studio nella classe terza. In questo lavoro vorrei presentare l'attività che propongo ai miei studenti per introdurre i moti, attività che ha le medesime caratteristiche di quelle descritte nell'articolo citato e che può essere utilizzata anche nei percorsi liceali previsti dalla riforma.

2. Descrizione dell'esperienza

La proposta è molto semplice e consiste nell'analisi quantitativa del moto di uno studente lungo una traccia rettilinea. La predisposizione dell'esperienza e la raccolta dei dati richiede il contributo collaborativo dell'intera classe e si esaurisce in un'ora. L'analisi dei dati può essere svolta dagli studenti a casa e/o durante una successiva lezione in classe.

Il luogo ottimale per la realizzazione è una palestra o un campo sportivo in cui sia presente una linea abbastanza lunga. Qualora non fosse già predisposta nelle strutture scolastiche, si può sempre segnare a terra con nastro adesivo una traiettoria rettilinea di lunghezza adeguata nel corridoio, nel cortile o in altri spazi disponibili. Per semplicità qui mi riferirò all'attività svolta in un campo da pallavolo utilizzando come traiettoria il bordo campo. Con nastro adesivo si segnano sette traguardi a tre metri di distanza l'uno dall'altro (Fig. 1). Nel nostro caso le distanze dei traguardi sono state misurate con un metro a nastro con sensibilità di un centimetro.

Per le misure dei tempi si utilizzano cellulari, iPhone, orologi digitali, ... dotati di cronometri in grado di memorizzare misure di intervalli parziali. In genere il numero dei dispositivi messi a disposizione dagli alunni stessi è abbastanza elevato da non richiedere l'uso di quelli in dotazione al laboratorio. La scelta di utilizzare strumenti di uso comune forniti dagli studenti invece dei cronometri del laboratorio garantisce un maggiore coinvolgimento attivo degli studenti sin dalle fasi preliminari di predisposizione della misura e non di rado diventa l'occasione per alcuni ragazzi di scoprire le funzioni cronometro del proprio cellulare o iPhone fino a quel momento sorprendentemente sconosciute. Segnalo una curiosità che stupisce molto gli studenti: la

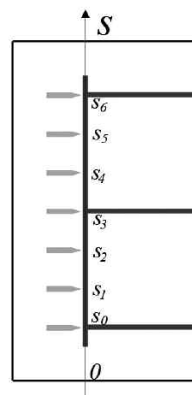


Figura 1. Rappresentazione schematica del campo da pallavolo con i traguardi intermedi e l'asse s di riferimento.



Figura 2. Un momento della raccolta dati con al centro la ragazza che cammina e ai lati il gruppo dei cronometristi.

maggior parte degli iPhone ha cronometri con risoluzione al decimo di secondo a differenza di molti cellulari di vecchia generazione che arrivano a misurare il centesimo di secondo. Entrambi gli strumenti sono comunque adatti per le misure qui presentate avendo una sensibilità minore o confrontabile con l'incertezza dovuta ai tempi di reazione dei cronometristi, stimata nell'ordine del decimo di secondo.

Gli alunni sono suddivisi in base ai compiti che devono svolgere: un paio camminano a turno lungo la traiettoria scelta, almeno una decina misurano i tempi, i rimanenti si occupano della registrazione dei dati raccolti.

Si fissa come sistema di riferimento un asse sovrapposto alla linea di bordo campo avente l'origine in corrispondenza del muro della palestra (Fig. 1). Scegliere l'origine degli assi in questo modo consente di spiegare concretamente la distinzione tra posizione e spazio percorso, distinzione che spesso non è di facile comprensione da parte degli alunni.

La prima serie di dati è raccolta invitando lo studente camminatore a procedere con passo lento e regolare partendo da un punto in prossimità dell'origine degli assi. Il cronometro viene attivato all'attraversamento del primo traguardo (s_0 al tempo $t = 0$) e vengono registrati i tempi t_i del passaggio ai traguardi successivi s_i . Poiché l'insegnante, volutamente, non fornisce indicazioni in merito, i cronometristi all'inizio commettono l'errore di non muoversi col compagno che cammina, rimangono fermi in prossimità del primo traguardo e da lì registrano i tempi. Il docente può così intervenire stimolando la discussione sulla natura e le conseguenze dell'errore di parallasse. Invitati ad effettuare una misura rimanendo in prossimità del traguardo e una muovendosi parallelamente al camminatore, gli studenti capiscono subito che, da fermi, è più difficile stabilire l'istante esatto in cui il compagno attraversa i traguardi e quindi riconoscono la necessità di un corretto posizionamento per ridurre gli errori di parallasse. Dopo queste fasi preliminari finalizzate a mettere tutti gli studenti nelle condizioni di svolgere correttamente il compito assegnato, si può procedere alla raccolta dei dati vera e propria. Un momento della misura con i cronometristi che affiancano l'alunna che cammina è riportata in Fig. 2. Al termine della camminata ciascun cronometrista detta i tempi rilevati ai compagni incaricati della trascrizione che poi li metteranno a disposizione dell'intera classe.

L'operazione è ripetuta con una camminata con passo regolare ma veloce e per finire con un moto vario prima lento, poi veloce e poi ancora lento.

3. Analisi dei dati

Per ciascuna delle tre serie di dati (camminata lenta, veloce, lenta-veloce-lenta) è possibile costruire una tabella posizione-tempo ($s-t$) (Tab. 1). I tempi t_i sono i valori medi delle misure registrate da una decina di alunni. L'incertezza $\delta(t_i)$ è stimata come deviazione standard del campione

$$\delta(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad [2].$$

La dispersione delle misure dei tempi, frutto dei differenti tempi di reazione degli studenti e della soggettività nell'individuare l'istante esatto di attraversamento del traguardo, risulta comunque contenuta.

Nel paragrafo precedente si è detto che le posizioni dei traguardi sono misurate con un'incertezza pari ad un centimetro a cui va aggiunto lo spessore del nastro adesivo. Tuttavia, in questa situazione, la sensibilità dello strumento non stima correttamente l'incertezza assoluta sulla misura poiché intervengono altri fattori quali lo spessore del camminatore e la difficoltà nell'individuare con precisione la posizione reciproca tra il suo baricentro e il traguardo anche quando il cronometrista è correttamente posizionato al suo fianco. Tenuto conto di questi elementi, si ritiene ragionevole un valore dell'incertezza nella misura delle posizioni dei traguardi di 0.1 m.

Sullo stesso grafico posizione-tempo vengono rappresentati i dati relativi alla camminata a passo lento e a quella a passo veloce (Fig. 3a). L'analisi col metodo dei minimi quadrati dei dati raccolti fornisce i seguenti valori di velocità e coefficiente di regressione lineare [3]:

– $v = (1.34 \pm 0.01)$ m/s, $R^2 = 0.9999$ per la camminata lenta,

– $v = (2.18 \pm 0.01)$ m/s, $R^2 = 0.9999$ per la camminata veloce.

Il grado di linearità dei dati è molto elevato. Ho proposto l'attività numerose volte nel corso della mia decennale esperienza di insegnamento, ottenendo sempre valori del coefficiente di regressione lineare prossimi all'unità ad indicare che è facile mantenere un passo regolare durante la camminata. È capitato anche che uno degli alunni fosse costretto temporaneamente ad utilizzare le stampelle per un leggero infortunio: anche la sua camminata lenta con stampelle è risultata a velocità costante con coefficiente di regressione lineare molto alto.

La connessione tra pendenza del grafico e velocità di chi cammina è sempre stata osservata spontaneamente dagli studenti ancor prima che si definisse la grandezza velocità. Essendo frutto di un'esperienza che li vede protagonisti attivi, tale connessione viene assimilata con consapevolezza e in modo permanente, agevolando l'introduzione, in una fase successiva, del legame tra velocità istantanea e coefficiente angolare della retta tangente al grafico posizione-tempo.

		lento		veloce		lento-veloce-lento	
s_i (m)	$\delta(s)$ (m)	t_i (s)	$\delta(t_i)$ (s)	t_i (s)	$\delta(t_i)$ (s)	t_i (s)	$\delta(t_i)$ (s)
5.2	0.1	0		0		0	
8.2	0.1	2.1	0.1	1.3	0.1	2.2	0.2
11.2	0.1	4.4	0.1	2.7	0.1	4.4	0.1
14.2	0.1	6.7	0.1	4.1	0.1	5.8	0.1
17.2	0.1	8.9	0.1	5.5	0.1	7.1	0.2
20.2	0.1	11.2	0.2	6.9	0.2	9.1	0.2
23.2	0.1	13.4	0.2	8.2	0.2	11	0.2

Tabella 1. La tabella riporta i tempi t_i misurati al passaggio del camminatore dalle posizioni s_i indicate nella prima colonna. Le tre serie di dati si riferiscono ad una camminata regolare lenta, regolare veloce e varia prima lenta, poi veloce, poi ancora lenta.

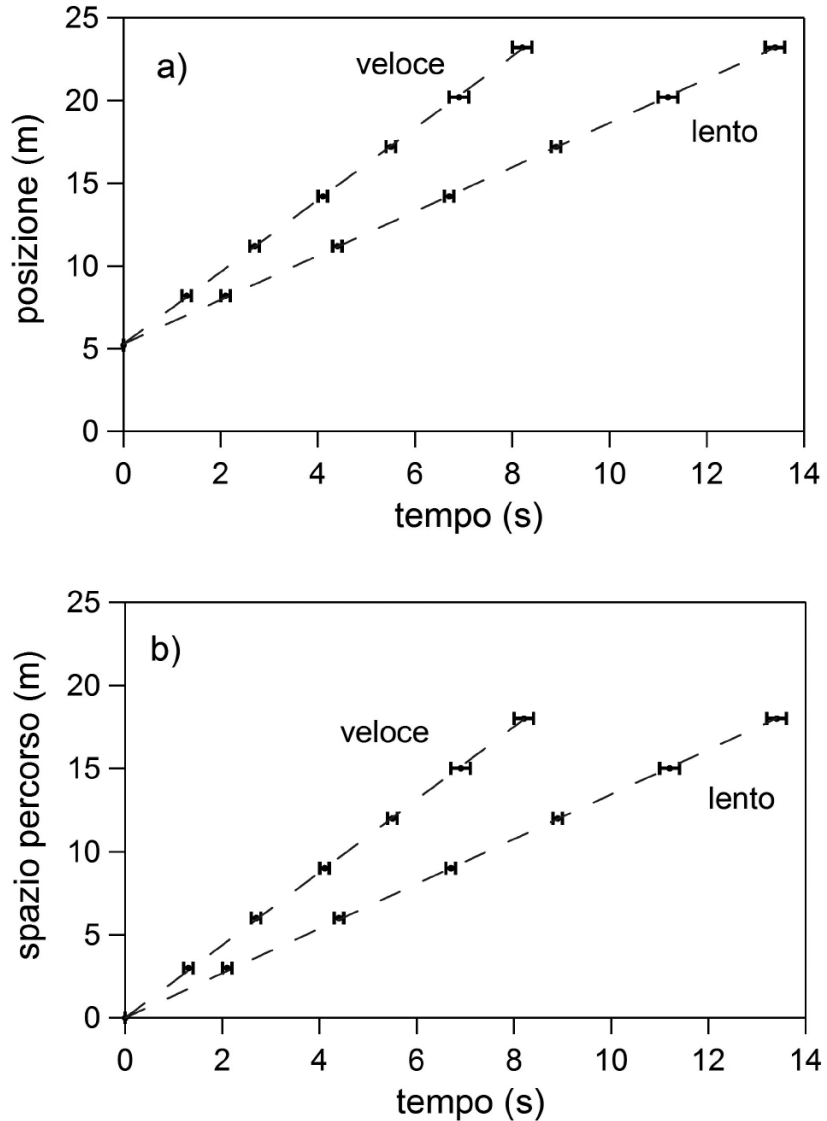


Figura 3. a) Grafico della posizione s in funzione del tempo t relativo alla camminata regolare lenta e a quella regolare veloce. Le linee di tendenza evidenziano l'andamento lineare. b) Grafico dello spazio percorso Δs in funzione dell'intervallo di tempo Δt per le camminata lenta e veloce. Le linee di tendenza evidenziano la proporzionalità diretta.

A partire dai dati raccolti, si possono costruire anche tabelle in cui si riporta lo spazio percorso Δs in funzione del tempo di percorrenza Δt (Tab. 2). La proporzionalità diretta tra le due grandezze è dimostrata dal valore del loro rapporto $\Delta s/\Delta t$ che risulta costante entro l'incertezza sperimentale [4].

Anche il grafico dello spazio percorso in funzione del tempo (Fig. 3b) è utile per sottolineare le differenze e i legami tra la proporzionalità diretta e la dipendenza lineare, concetti su cui insistono i percorsi dei licei della riforma.

		lento				veloce			
Δs_i (m)	$\delta(\Delta s_i)$ (m)	Δt_i (s)	$\delta(\Delta t_i)$ (s)	$\Delta s_i/\Delta t_i$ (m/s)	$\delta(\Delta s_i/\Delta t)$ (m/s)	Δt_i (s)	$\delta(\Delta t_i)$ (s)	$\Delta s_i/\Delta t_i$ (m/s)	$\delta(\Delta s_i/\Delta t)$ (m/s)
3	0.2	2.1	0.1	1.4	0.2	1.3	0.1	2.3	0.3
6	0.2	4.4	0.1	1.36	0.08	2.7	0.1	2.2	0.2
9	0.2	6.7	0.1	1.34	0.05	4.1	0.1	2.2	0.1
12	0.2	8.9	0.1	1.35	0.04	5.5	0.1	2.18	0.08
15	0.2	11.2	0.2	1.34	0.04	6.9	0.2	2.17	0.09
18	0.2	13.4	0.2	1.34	0.03	8.2	0.2	2.20	0.08

Tabella 2. La tabella riporta gli intervalli di tempo Δt_i in funzione degli spazi percorsi Δs_i ed il loro rapporto $\Delta s_i/\Delta t_i$, costante entro l'incertezza della misura. Le due serie di dati si riferiscono ad una camminata regolare lenta e regolare veloce.

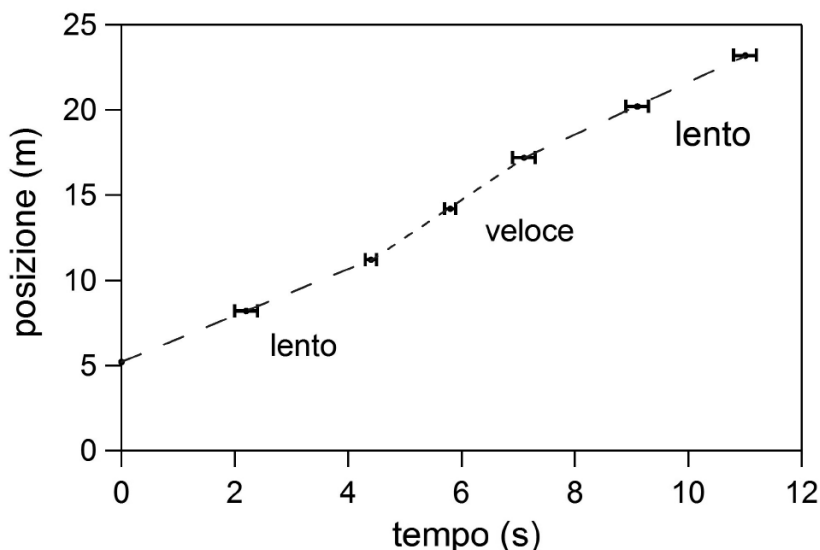


Figura 4. Grafico della posizione s in funzione del tempo t relativo alla camminata con passo lento, poi veloce e ancora lento. Le linee di tendenza evidenziano l'andamento lineare nelle tre diverse fasi.

L'ultima serie di dati relativa alla camminata non regolare viene riportata su un grafico a parte che, se ce ne fosse bisogno, conferma in modo ancor più significativo la relazione tra il coefficiente angolare del grafico orario e la velocità (Fig.

4). La velocità media nell'intero percorso $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_6 - s_0}{t_6 - t}$ è di (1.64 ± 0.05) m/s [4]

mentre le velocità nelle tre fasi del moto calcolate col metodo dei minimi quadrati valgono:

$- v_1 = (1.36 \pm 0.01)$ m/s, $v_2 = (2.22 \pm 0.05)$ m/s e $v_3 = (1.54 \pm 0.02)$ m/s.

Partendo da questa misura, dopo aver approfondito la differenza tra velocità media sull'intero percorso e velocità nelle tre fasi, si può iniziare a discutere del significato di velocità registrata in intervalli di tempo sempre più piccoli. L'obiettivo è arrivare a ragionare con i ragazzi sull'ordine di grandezza dell'intervallo di tempo Δt che consenta di parlare di velocità istantanea e su come si possa misurare concretamente la velocità istantanea stessa.

Avendo a disposizione spazi idonei e tempo sufficiente, è possibile un'analisi più approfondita del moto vario. In particolare in [5] è presentata un'esperienza condotta con modalità analoghe a quelle del presente lavoro che studia il moto di studenti podisti e ciclisti anche con velocità crescenti nel tempo.

4. Conclusioni

In questo articolo si è presentata un'attività sul moto che consiste nel registrare ed analizzare i tempi di passaggio a distanze prefissate da parte di studenti che camminano su una traiettoria rettilinea. La proposta didattica si contraddistingue per le seguenti caratteristiche:

- gli studenti sono protagonisti del moto che si studia e coinvolti attivamente in tutte le fasi del lavoro: preparazione dell'apparato sperimentale, scelta degli strumenti di misura, raccolta, registrazione e rielaborazione dei dati. Lo spirito di collaborazione è fondamentale, dal momento che la buona riuscita dell'esperienza richiede che tutti svolgano con serietà e precisione il compito assegnato;
- l'attività si svolge in luoghi (palestra o campi sportivi all'aperto) e con strumenti di misura (cellulari, iPhone, orologi digitali con cronometro) che fanno parte della vita quotidiana degli adolescenti. Le modalità informali di conduzione incentivano l'interesse ed il coinvolgimento dei ragazzi;
- la messa a punto e l'esecuzione dell'esperimento si esaurisce completamente nell'arco di una sola ora di lezione. L'analisi dei dati può essere svolta autonomamente a casa o in una successiva lezione in classe;
- accanto alle proprietà fondamentali del moto rettilineo, vengono chiariti alcuni concetti importanti che spesso si rivelano faticosi da acquisire: errore di parallasse, differenze e legami tra posizione e spazio percorso, tra linearità e proporzionalità diretta, relazione tra velocità e coefficiente angolare del diagramma orario,
- l'esperienza può essere portata avanti con modalità e strumenti analoghi per studiare il moto accelerato o il moto vario;
- la semplicità di realizzazione rende la proposta adatta anche ai percorsi che prevedono lo studio dei moti nei primi due anni del corso di studi superiori.

5. Ringraziamenti

I dati riportati nel presente lavoro sono stati raccolti nell'anno scolastico 2010-11 dagli studenti delle classi 3^aC e 3^aE che ringrazio per la serietà e l'entusiasmo con cui hanno operato. In particolare ringrazio Alessandro Loda e Robin Castellani che hanno archiviato con cura i dati mettendomi a disposizione a più di un anno di distanza.

Bibliografia e note

- [1] F. GIANNELLI, S. GALLI: "Esperimenti a "costo zero" sul moto uniforme", *LFnS*, XLIV, 3, 115-121 (2011).
- [2] J. R. TAYLOR, *Introduzione all'analisi degli errori*, Zanichelli, Bologna 1996.
- [3] Per l'analisi e la rappresentazione dei dati si è utilizzato il software interattivo IGOR Pro 6.0 - WaveMetrics, Inc.
- [4] Come suggerito in [2], l'incertezza assoluta sullo spazio percorso è calcolata come somma delle incertezze assolute delle posizioni. L'incertezza relativa del rapporto $\Delta s/\Delta t$ è data dalla somma dell'incertezza relativa di Δs e Δt . Tempo t e intervallo di tempo Δt coincidono e così pure le loro incertezze.
- [5] L. FRANCESIO: "La classe in moto: analisi di una corsa", *LFnS*, XXXIX, 4, 170-182 (2006).