












ASTROEDU

Peer-reviewed Astronomy Education Activities

Misurare la velocità media di una cometa attraverso immagini astronomiche

**Misuriamo la velocità media della
cometa C/2019 Y4 nella prima parte
della notte del 2 aprile 2020.
Analizzeremo le osservazioni
effettuate**

Stefano Sandrelli, INAF; Giulia Iafrate, INAF; Riccardo Bevilacqua, INAF; Giulia Pantiri, INAF

 ETÀ 14 - 19	 LEVEL Secondary
 DURATA 1h30	 GROUP Group
 SUPERVISED No	 COST PER STUDENT Free
 LOCATION Computer Laboratory	 CONTENT AREA FOCUS Astronomy
 ASTRONOMY CATEGORIES Astrometry and celestial mechanics	

CORE SKILLS

Asking questions, Planning and carrying out investigations, Analysing and interpreting data, Engaging in argument from evidence

TYPE(S) OF LEARNING ACTIVITY

Guided-discovery learning, Structured-inquiry learning, Problem-solving, Technology-based, Observation based

KEYWORDS



GOALS

- Osservare, descrivere, analizzare qualitativamente il movimento di un corpo
 - Osservare, descrivere, analizzare quantitativamente il movimento di un corpo
 - Essere consapevole della rappresentazione di un fenomeno
 - Essere consapevole del significato di “misura” e di “errore” associato alla misura
 - Essere consapevole del significato di “stima” di una grandezza
 - Essere consapevole della potenzialità delle tecnologie per rappresentare il movimento di un corpo
 - Incoraggiare il pensiero critico-creativo
-



LEARNING OBJECTIVES

Gli studenti, nel corso dell'attività, avranno i seguenti obiettivi specifici di apprendimento:

- utilizzo di un software per la visualizzazione della rappresentazione del movimento di un corpo;
 - rappresentazione del fenomeno tramite tabelle e grafici;
 - utilizzo di fattori di scala;
 - confronto con il problema della misura di una grandezza osservata;
 - discussione critica delle ipotesi.
-



EVALUATION

DA FARE



MATERIALS

Attività con pc

- pc (1 pc per ogni 2-3 studenti oppure 1 solo pc, secondo la modalità prescelta)
- Software gratuito SalsaJ installato sul pc
- foglio di calcolo o carta millimetrata

Attività con materiale cartaceo

Se si preferisce realizzare l'attività su supporto cartaceo, si potranno stampare le immagini. In questo caso, serviranno:

- stampante
 - foglio di calcolo o carta millimetrata e calcolatrice
 - fogli di carta e penna o matita e righello
-



BACKGROUND INFORMATION

Che cosa è una cometa

Le comete sono oggetti celesti costituiti da rocce e ghiacci, che orbitano intorno al Sole percorrendo traiettorie periodiche che li portano anche molto lontano dalla nostra stella.

Man mano che si avvicinano al Sole, gli strati di ghiaccio che li ricoprono vengono riscaldati e sublimano parzialmente, producendo una nube di gas da cui origina la

celebre coda cometaria che, in rare circostanze, può essere visibile a occhio nudo dalla Terra.

La cometa C/2019 Y4

Il programma ATLAS (Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System), attivo dal dicembre 2015, si occupa di identificare i corpi del Sistema Solare di piccole dimensioni che potrebbero entrare in rotta di collisione con la Terra. Attualmente ATLAS utilizza otto telescopi di 50 cm di diametro ciascuno.

Il 28 dicembre 2019, il programma ha osservato una cometa, che si trovava a circa 450 milioni di km dal Sole. La cometa è stata denominata C/2019 Y4. Ritenuta di alta visibilità, intorno al 2 aprile, la cometa ha subito un processo di frammentazione che ne ha causato un decremento in luminosità, tale da renderla non osservabile a occhio nudo.

All'epoca delle osservazioni, la cometa aveva una distanza dalla Terra di 155 434 400 km, circa 155,5 milioni di km.

Osservazioni della cometa

Le immagini di questa attività sono state raccolte attraverso il telescopio Schmidt-Cassegrain da 14 pollici di diametro del progetto didattico Le Stelle Vanno A Scuola (SVAS) dell'INAF-Osservatorio Astronomico di Trieste.

Valori di velocità nella vita quotidiana

Di seguito riportiamo in tabella alcuni valori tipici di velocità che incontriamo nella vita quotidiana. Potete usare questa tabella per confrontare questi valori con quello della velocità media della cometa.

Tabella 1: valori di velocità

che cosa	m/s	km/h
Corsa tranquilla	2	7,2
Record del mondo sui 100 metri	10,44	37,58
Aereo	3×10^2	1080
Treno freccia rossa	83,3	300
Suono nel vetro	5×10^3	18000
Moto orbitale della Terra	3×10^4	108000



FULL ACTIVITY DESCRIPTION

Sono fornite 12 immagini dello stesso campo celeste: una cometa è ben visibile in primo piano, sulla destra dell'immagine, su uno sfondo di stelle (al centro è visibile anche una galassia). Le immagini sono centrate e allineate una rispetto all'altra. Su ciascuna immagine è riportato l'orario di inizio posa. La durata della posa è di 60 secondi.

Le immagini sono numerate 0001, 0005, 0010, 0015 e così via, in ordine temporale.

Sovrapponendo il set completo delle immagini raccolte è stato realizzato un filmato, nel quale il movimento della cometa ha un duplice fattore di rappresentazione:

una scala temporale arbitraria, decisa in fase di montaggio;

una scala spaziale intrinseca: a una certa lunghezza in mm percorsa dalla cometa sullo sfondo delle stelle fisse, corrisponde una determinata distanza in km

Lo scopo di questa attività è la misura della velocità media con la quale si è mossa la cometa C/2019 Y4 nel corso delle osservazioni del 2 aprile effettuate attraverso

SVAS. La velocità media si intende misurata rispetto a un sistema di riferimento solidale con il punto di osservazione.

Per definizione, la velocità media di un corpo è il rapporto fra il suo spostamento Δs e l'intervallo di tempo Δt in cui è avvenuto:
 $v_{media} = \Delta s / \Delta t$

Sarà dunque necessario ricavare dalle immagini entrambi i termini:
 Δs = lunghezza dello spostamento della cometa;
 Δt = durata dell'intervallo temporale dello spostamento
Discuteremo infine limiti e approssimazioni della misura effettuata.

Nel corso dell'attività si potrà anche determinare la traiettoria della cometa nell'intervallo di osservazione (facoltativo).

Preparazione

Dovremo misurare le coordinate della cometa nelle immagini fornite. A questo scopo è possibile utilizzare il software gratuito SalsaJ. Potete scaricare il software gratuito SalsaJ da questo link:
<http://www.euhou.net/index.php/salsaj-software-mainmenu-9/download-mainmenu-10>

In alternativa potete stampare le immagini facendo attenzione che siano tutte stampate con la stessa scala.

Passo 1: osservazione del filmato

In questo breve filmato, viene mostrata la successione delle posizioni di C/2019 Y4 nel corso delle osservazioni.

Si noti il suo rapido movimento rispetto al campo stellare, cioè allo sfondo delle stelle che appaiono nelle immagini.

Passo 2: durata del movimento

Per ricavare la durata temporale complessiva delle osservazioni Δt , si tenga conto dei seguenti dati:

la prima osservazione è iniziata alle 22:08:12 UT.

l'ultima osservazione è terminata alle 23:32:42 UT

Sarà utile esprimere la durata delle osservazioni in secondi.

Facoltativo. Potete ricavare anche il fattore di scala temporale del filmato, cioè a quanti secondi reali corrisponde un secondo di filmato. Per farlo, basterà osservare il filmato e misurarne la durata:

fattore scala temporale = durata delle osservazioni/durata del filmato

_Risposte:

durata del filmato = 5,5 secondi

durata totale delle osservazioni: 1 ora, 24 minuti e 30 secondi, ovvero 5070 s

fattore di scala temporale = 922, ovvero ogni secondo di filmato corrisponde a circa 922 secondi reali (15 minuti e 22 secondi)_

Passo 3: la misura della posizione della cometa in un'immagine astronomica

Di seguito viene descritta una possibile procedura per misurare la posizione della cometa in una delle immagini fornite.

La procedura è valida nel caso si utilizzi il software SalsaJ, ma il metodo si potrà adattare facilmente al caso di attività cartacea o al caso di qualsiasi altro software che sia in grado di contare i pixel sull'immagine in modo automatico.

Lanciando l'applicazione SalsaJ, apparirà questa finestra.

salsaj.jpg

Caricate l'immagine (o le immagini) astronomiche fornite.

Si può fare in due modi: a) usando il comando Apri File Immagine di SalsaJ (prima

icona in alto a sinistra) e selezionando le immagini fornite; b) aprendo la cartella e trascinando le immagini sul programma stesso.

Si faccia scorrere il cursore su un'immagine e si noti che, al suo movimento, variano tre indicatori nella maschera di SalsaJ, in basso a sinistra:

x = aumenta andando da sinistra verso destra

y = aumenta andando dall'alto verso il basso

valore = può assumere un valore da 0 a 255 e aumenta andando da zone nere a zone chiare. Questo è un parametro che indica la luminosità di una stella.

Le coordinate (x; y), espresse in pixel, formano un sistema di coordinate sul piano, la cui origine (0;0) è fissata nell'angolo in alto a sinistra delle immagini. Questa è una scelta dei programmatori di SalsaJ. Così facendo, osservate che si ottiene un sistema di assi cartesiani come quello nella figura 1.

graficocartesiano.jpg

Partendo dall'immagine numero 0001, si porta il cursore sopra la cometa. Assoceremo la posizione della cometa alle coordinate del pixel che corrisponde al valore massimo (relativo ai valori circostanti) del parametro di luminosità.

Si noti che con questo metodo la determinazione della posizione non è univoca: per ogni immagine vi sono alcuni pixel adiacenti, sia lungo l'asse x sia lungo l'asse y, nei quali il valore di luminosità è altrettanto elevato.

Secondo il livello di difficoltà che volete mantenere, potete decidere di ignorare questo effetto oppure potete associare a ciascuna misura un'incertezza di alcuni pixel.

Risposta: per l'immagine 001 una possibile misura è

x = 887 3 4

y = 409 3 3

Passo 4: la traiettoria della cometa

Nota bene: se volete usare questa attività solo per definire la velocità media, potete andare direttamente al passo 5.

Ripetete il procedimento per determinare la posizione della cometa per ciascuna delle immagini fornite, associando a C/2019 Y4 una posizione in ciascuna immagine. Potete aggiungere anche due ulteriori righe per le incertezze Δx e Δy . Si otterrà la tabella spazio (x,y) per il moto della cometa.

Immagini		1		2		3			12
x		887										
y		409										
Δx		4										
Δy		3										

Grafichiamo i dati attraverso un foglio di calcolo oppure su carta millimetrata, ottenendo un'immagine come quella in figura 2, nella quale abbiamo messo in evidenza le barre di errore:

Nel caso in cui si usi un foglio di calcolo, la tabella deve essere come quella di sopra, con i dati in riga, e il tipo di grafico da inserire è "a dispersione di dati".

In entrambi i casi si deve fare attenzione a due particolari:

volendo rappresentare una traiettoria, è necessario usare la stessa scala su entrambi gli assi, per non introdurre fattori di deformazione;

dati i valori numerici da graficare, è opportuno traslare l'origine degli assi.

Con riferimento ai valori di cui sopra, si ottiene un semplice grafico lineare. Verificate l'allineamento dei dati: questa attività può essere particolarmente interessante se avete deciso di associare un errore alle misure di posizione.

Risposta: per la tabella, un possibile risultato è il seguente

Immagini

1

I dati possono essere rappresentati come nella seguente figura, nella quale è stata riportata anche una linea di tendenza.

Passo 5: lo spazio percorso dalla cometa nel corso delle osservazioni

Alla distanza a cui si trova la cometa, ogni pixel corrisponde a 620 km:

$$1 \text{ px} = 620 \text{ km}$$

Questo valore si ricava con un metodo che esula dagli scopi di questa attività, ma che presuppone di conoscere la distanza della cometa con una buona approssimazione. È un'ipotesi che semplifica questa attività ma che può essere una sorgente di errore considerevole.

Il fattore di scala è ribadito nella immagine #1, dove è stata riportata una linea bianca lunga 20 pixel. Servirà nel caso in cui decidiate di realizzare l'attività stampando le immagini: potrete ricavare da questa indicazione, la scala fra centimetri su carta e km - che dipendono naturalmente dalle dimensioni che avete scelto per la stampa.

Per misurare la distanza d percorsa dalla cometa nell'intervallo Δt che abbiamo preso in considerazione, è necessario calcolare lo spostamento tra la sua posizione iniziale e la sua posizione finale. Misureremo quindi le coordinate della cometa nell'immagine 001 (posizione iniziale) e nell'immagine 055 (posizione finale). Applicando il teorema di Pitagora, calcoliamo la distanza d attraverso le coordinate dei punti ottenendo un valore espresso in pixel:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Per calcolare la distanza in km, occorre moltiplicare il valore della distanza in pixel per il fattore di scala indicato sopra.

Risposta: con i dati indicati si ottiene

posizione iniziale $(x_1, y_1) = (887 \ 3 \ 4 ; 409 \ 3 \ 3)$

posizione finale $(x_2, y_2) = (724 \ 3 \ 4 ; 387 \ 3 \ 3)$

distanza: $d \text{ (px)} = 165 \ 3 \ 9 \text{ pixel}$

La distanza percorsa in pixel corrisponde a uno spostamento totale di 102300 km, mentre l'errore è di 5580 km. Tenendo conto delle cifre significative, il risultato si può esprimere come:

$d \text{ (km)} = 102000 \ 3 \ 6000 \text{ km}$

con un errore relativo di $\Delta d/d = 0,06$

Passo 6: la definizione e il calcolo della velocità media

La velocità media di un corpo è, per definizione, il rapporto fra la distanza percorsa d e l'intervallo di tempo Δt impiegato:

$$v_{\text{media}} = d / \Delta t$$

Entrambi i valori sono noti.

Si suggerisce sempre di usare il SI delle unità di misura, esprimendo la velocità in metri al secondo (m/s), oppure, se si desidera un confronto diretto con alcune velocità familiari nel quotidiano, in km/h.

Possiamo trascurare l'errore sull'intervallo temporale. Anche assumendo un errore assoluto di 10 secondi, l'errore relativo risulta molto minore di quello sulla misura della distanza percorsa:

$$\Delta t/t = 10 \text{ s} / 5070 \text{ s} = 0,002$$

Soluzione. Usando i dati ricavati sopra si ricava che la velocità media della cometa C/2019 Y4, il 2 aprile, era di circa:

$$v_{\text{media}} = 20 \ 000 \text{ m/s} = 72400 \text{ km/h}$$

con un errore relativo di $\Delta v_{\text{media}} / v_{\text{media}} = 0,06$ si ottiene

$$v_{\text{media}} = (72000 \ 3 \ 4000) \text{ km/h}$$

Discussione

Discussione 1: direzione del movimento della cometa

Abbiamo condotto l'attività basandoci su un'ipotesi implicita, che non abbiamo cioè enunciato ma che occorre discutere per comprendere il significato stesso della stima.

Le immagini che abbiamo analizzato mostrano la proiezione del movimento della cometa sullo sfondo del cielo, che appare – per definizione – perpendicolare alla nostra linea di vista: anche le fotografie che scattiamo nel quotidiano, essendo bidimensionali, proiettano il soggetto della foto su uno sfondo.

Solo se la traiettoria della cometa fosse effettivamente perpendicolare alla nostra linea di vista, il grafico tracciato corrisponderebbe davvero alla traiettoria reale. Sarebbe un caso particolare e fortunato. In generale, infatti, la direzione del moto della cometa non sarà perpendicolare alla linea di vista: in questi casi, la nostra misura non corrisponde al valore reale della velocità della cometa, ma al valore di una sua componente.

La nostra misura, insomma, è un limite inferiore del valore della velocità: la velocità della cometa non può essere minore di quel che abbiamo stimato.

Discutete questo problema: qual è la distanza fra la cometa e le stelle che fanno da sfondo al suo movimento?

Discussione 2: le sorgenti di errore e la loro stima

Per semplificare l'attività, abbiamo considerato le seguenti misure soggette a un errore trascurabile:

la misura della distanza della cometa;

la misura dei tempi

Mentre la nostra assunzione è senz'altro corretta nel secondo caso, la misura della distanza della cometa può essere una fonte di errore non trascurabile, perché si riflette sulla conversione pixel → km della scala lineare sulle immagini e dunque sulla distanza effettivamente percorsa.

Abbiamo invece quantificato gli errori associati alla misura della posizione della cometa nelle varie immagini e fornito un errore plausibile sulla misura della distanza percorsa.

Potete utilizzare la propagazione degli errori, sia pure in forma semplice, per ricavare questo valore.

Di seguito si fornisce una breve spiegazione del procedimento da utilizzare per calcolare l'errore finale. Se ne può trovare una versione più approfondita e dettagliata nell'appendice 1.

Dato che abbiamo considerato trascurabile l'errore su Δt , sarà sufficiente stimare l'errore sulla distanza percorsa Δs :

$$\Delta s = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Calcolando separatamente gli errori su ogni operazione e, considerando la propagazione degli errori nella sua forma più semplice, si ottiene, con i dati forniti:

$$\text{Errore sulla differenza nelle ascisse: } \Delta(x_2 - x_1) = \Delta x_2 + \Delta x_1 = 8$$

$$\text{Errore sulla differenza nelle ordinate: } \Delta(y_2 - y_1) = \Delta y_2 + \Delta y_1 = 6$$

$$\text{Errore sui loro quadrati: } \Delta(x_2 - x_1)^2 = 2(x_2 - x_1)(\Delta x_2 + \Delta x_1) = 2608$$

$$\Delta(y_2 - y_1)^2 = 2(y_2 - y_1)(\Delta y_2 + \Delta y_1) = 264$$

Errore sulla somma dei quadrati:

$$\Delta[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2] = \Delta(x_2 - x_1)^2 + \Delta(y_2 - y_1)^2 = 2872$$

Errore sulla radice quadrata:

$$\Delta[\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}] = 0,5 \Delta[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2] / \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = 9$$

In definitiva, l'errore sulla misura della distanza risulta $\Delta d = 9$ pixel.

Discussione 3: i sistemi di riferimento

Proponete una discussione circa il sistema di riferimento adottato in questa attività: rispetto a quale sistema di riferimento è stata misurata la velocità media

della cometa?

Quali sono gli esempi dati nella tabella che riguardano questo stesso sistema di riferimento?

Discussione 4: confronto fra i dati dei gruppi (o degli studenti)

Vogliamo ora discutere la compatibilità delle misure ottenute da tutti gli studenti della classe, confrontandole tra loro.

Si compila una tabella/foglio di calcolo con i risultati ottenuti da ciascun alunno (velocità ottenuta ed errore assoluto associato).

Proviamo a rispondere insieme queste domande:

In che modo possiamo rappresentare i dati su un grafico in modo da verificarne la compatibilità?

Se non tutte sono compatibili, quante di loro lo sono? Ipotizza un motivo per cui alcune misure non sono compatibili con le altre.

Calcola la media, con l'errore assoluto e relativo, delle misure compatibili.

Risposte:

Sul grafico si inserisce nell'asse delle ordinate la velocità (in km/h), sull'asse delle ascisse una variabile fittizia che indicizza le misure (ad esempio si associa a ogni studente il suo numero nel registro di classe). Le misure sono tutte compatibili tra loro se si riesce a disegnare almeno una retta orizzontale che interpola le misure entro le barre d'errore.

Se non tutte sono compatibili, il motivo più probabile è lo sbaglio di qualche studente nella procedura per il calcolo della velocità. In tal caso, individuare le misure che non stanno sulla retta (o nella banda orizzontale costituita dall'insieme delle rette orizzontali che interpolano i dati) può aiutare a individuare gli studenti che non hanno ottenuto un risultato corretto, e si può discutere con loro del perché.

La risposta a questa domanda dipende da come è stato affrontato l'argomento della teoria degli errori dalla classe. Secondo la teoria corretta, bisogna calcolare la media pesata, e, come errore assoluto, l'errore sulla media pesata. Spesso però, per semplificare il concetto, si usa fare la media aritmetica e come errore assoluto la semidispersione dei dati.



CURRICULUM

Livello scolastico Materia Argomento Secondaria di secondo grado Fisica
Definizione di velocità media Secondaria di secondo grado Fisica Traiettoria
Secondaria di secondo grado Fisica Unità di misura (MKS ed astronomiche)
Secondaria di secondo grado Fisica Teoria degli errori (misure dirette e derivate)
Secondaria di secondo grado Matematica Grafici cartesiani



ADDITIONAL INFORMATION



CONCLUSION

DA FARE

ALLEGATI

- [appendice 1. Gli errori](#)
- [immagini della cometa](#)
- [video della cometa](#)

TUTTI GLI ALLEGATI

[All attachments](#)

CITAZIONE

Stefano Sandrelli; Giulia Iafrate; Riccardo Bevilacqua; Giulia Pantiri, 2020, *Misurare la velocità media di una cometa attraverso immagini astronomiche*, [astroEDU](#),
