

REGIONE
TOSCANA



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

Laboratori del Sapere Scientifico



**Liceo Statale “C. Lorenzini”
Classico, Linguistico, Scientifico, Scienze umane
Pescaia (PT)**

evoluzione dei modelli cosmologici dall'antichità a Newton

classi terze del liceo scientifico

collocazione del percorso effettuato nel curriculum verticale

- il percorso viene, di solito, svolto nelle classi terze del liceo scientifico, ordinario e delle scienze applicate, dopo che è stato effettuato lo studio della cinematica e della dinamica
-

obiettivi essenziali di apprendimento

- ❑ obiettivo del percorso è quello di far acquisire la conoscenza delle caratteristiche più importanti dei modelli cosmologici da Tolomeo a Newton
 - ❑ la scelta di un percorso storico:
 - vuole mostrare che la formulazione della legge di gravitazione universale è il risultato di un percorso tutt'altro che lineare, in cui le concezioni filosofiche, oltre che scientifiche, svolgono un ruolo significativo
 - nasce dalla convinzione che la storia della fisica, oltre a costituire di per sé un aspetto significativo dell'apprendimento, consenta una miglior comprensione e acquisizione critica da parte degli studenti
-

elementi salienti dell'approccio metodologico

- nello sviluppo del percorso si è partiti dall'analisi di un problema per capire in che modo un modello astronomico ne costituisse una possibile soluzione
 - il percorso si è principalmente sviluppato a partire dalla visione di filmati, dalla lettura di testi e/o dalla proposizione di un problema per aprire un dialogo quotidiano con gli studenti. Ciò ha permesso di svolgere coerenti discussioni che hanno costituito uno strumento essenziale del processo di elaborazione dei contenuti
 - i contenuti proposti nelle slide successive sono quindi da interpretare come sintesi delle discussioni svolte in classe in cui il contributo degli studenti, delle loro riflessioni e ampliamenti, è stato motore efficace
-

materiali, apparecchi e strumenti impiegati

- ❑ Video del Museo Galileo di Firenze: "Sistema di Eudosso", "Teoria epiciclica", "Sistema di Tolomeo", "Sfera del Santucci", "Sistema di Copernico", "Astronomia di Galileo", "Sistema di Tycho Brahe", "Leggi di Keplero"
 - ❑ P.P.C. unità 2; il moto nei cieli, Zanichelli (per quanto riguarda i brani tratti dal "De Coelo" e "Astronomia Nova")
 - ❑ Modelli e realtà: vol.1; Marietti (per quanto riguarda i brani di Newton tratti da "Principia Mathematica" e "De Motu")
 - ❑ De Revolutionibus Orbium Coelestium; Einaudi PBE
 - ❑ Storia dell'astronomia da Talete a Keplero; Dreyer
 - ❑ Newton e la scoperta della gravità; Cohen; Le Scienze: n.153
 - ❑ Storia del concetto di forza; Iammer
-

ambienti di lavoro in cui è stato sviluppato il percorso

- aula scolastica
 - aula LIM
 - a casa
-

tempi impiegati

- per la messa a punto preliminare nel gruppo LSS: 5 h per ciascuna delle quattro classi coinvolte nel percorso
- per la progettazione specifica nelle classi: 12 h (per quattro classi)
- per lo sviluppo del percorso a scuola: 30 h + attività assegnate a casa
- per documentazione: 10 h

altre informazioni

- Nelle 4 classi in cui è stato sviluppato il percorso si sono utilizzate metodologie analoghe ma strumenti differenti: in due di esse i problemi venivano proposti a partire soprattutto dalla visione di filmati, nelle altre due a partire soprattutto dalla lettura di brani tratti da testi di vari autori.
- Gli argomenti che sono stati svolti solo nelle due classi dello scientifico sono evidenziati col simbolo ■, quelli trattati nelle due classi delle scienze applicate col simbolo ■. Gli argomenti svolti in tutte le classi sono contrassegnati col simbolo □

descrizione sintetica dell'attività

- L'analisi dei modelli cosmologici presi in considerazione è stata effettuata dedicando particolare attenzione alla assenza o alla presenza di una **causa** che giustificasse il moto dei corpi celesti.
-

sintesi degli argomenti proposti e discussi in classe

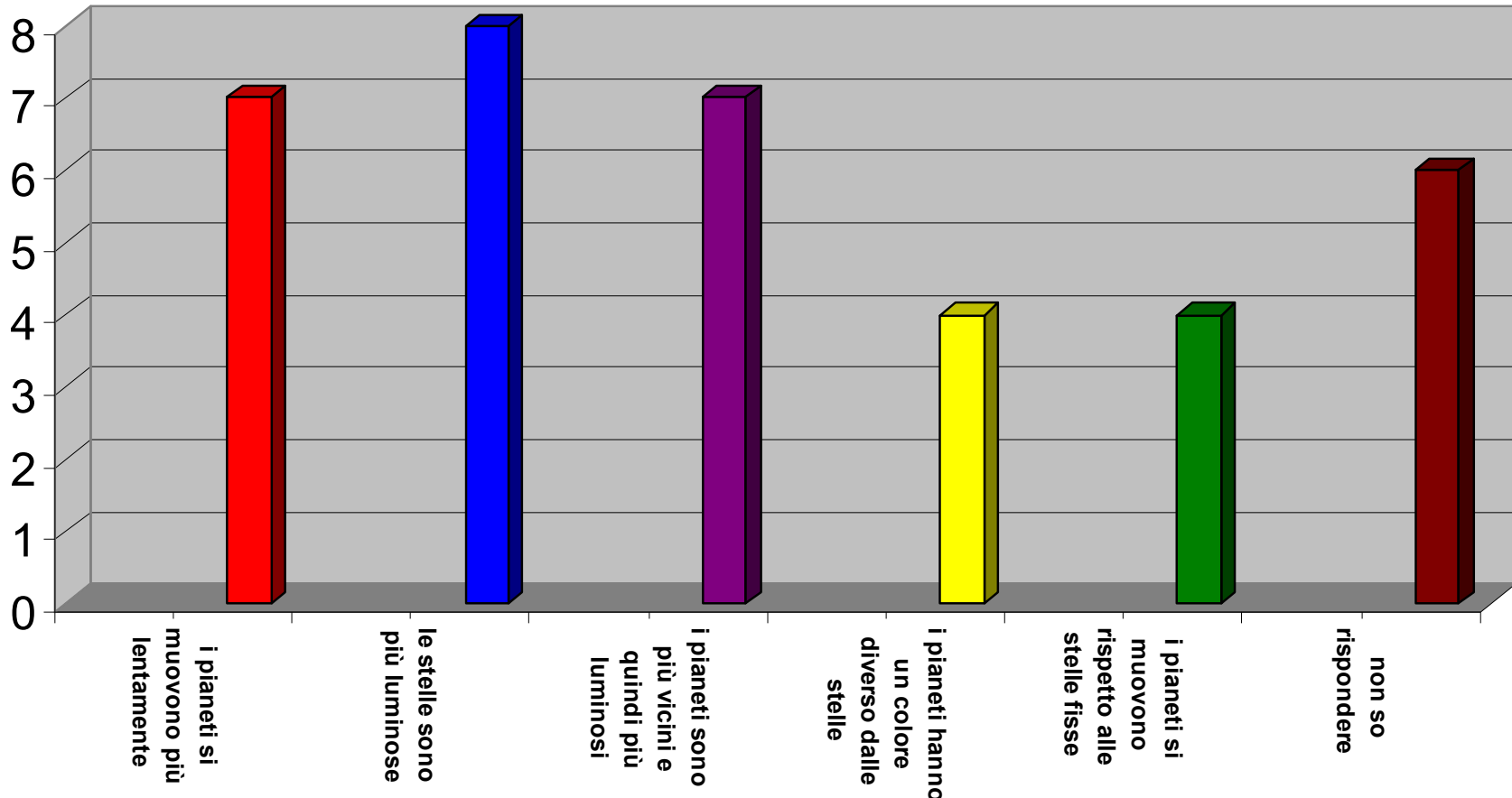
- come si può osservare il cielo
 - i primi modelli: Eudosso, Aristarco
 - il modello tolemaico
 - il modello copernicano
 - le leggi di Keplero
 - la formulazione della legge di gravitazione universale
 - il modello newtoniano
-

argomenti proposti e discussi in classe: *una prima sorpresa* ■

- Nelle classi 3ASA/3BSA la lezione introduttiva allo studio dell'astronomia è iniziata leggendo un brano di Platone. La discussione successiva ha messo in evidenza come alcuni termini considerati "ovvi" dagli stessi studenti non lo fossero affatto.
 - L'aspetto interessante è che l'assenza di conoscenze sulle modalità per distinguere un pianeta da una stella coesistesse con il possesso di informazioni, per esempio, sul tempo impiegato dalla luce del Sole per giungere sulla Terra o sul fatto che le stelle che si osservano potrebbero essere ormai morte.
 - Si è quindi passati a prendere in considerazione termini come "stelle", "stelle erranti", "stazioni", "percorso del Sole", cercando di individuare una modalità con cui, ai tempi di Platone, potevano essere effettuate le osservazioni astronomiche.
-

argomenti proposti e discussi in classe: ■
come si fa a distinguere un pianeta da una stella?

le risposte fornite



argomenti proposti e discussi in classe ■

- Nelle classi 3AS/3BS la lezione introduttiva allo studio dell'astronomia è iniziata facendo riflettere gli studenti su come, fin dall'antichità, l'uomo sia stato colpito dalla regolarità del moto apparente delle stelle, del Sole e della Luna, a cui veniva attribuito un significato divino e magico. Da qui un primo modello che assumeva la sfera come simbolo della perfezione su cui i corpi celesti dovevano muoversi con un moto circolare uniforme, eterno e immutabile. Alcuni di essi, però, presentavano un moto anomalo, detto "retrogrado", difficilmente riconducibile a un moto circolare; la ricerca di una soluzione che mantenesse la perfezione e l'immutabilità dei cieli fu posto come problema da Platone.
 - Nella discussione che è seguita, gli studenti sono stati invitati a pensare a come potevano essere condotte le osservazioni astronomiche a quei tempi e hanno manifestato difficoltà, per esempio, su come distinguere una stella da un pianeta, su come registrare la posizione di un corpo celeste, sulla comprensione del moto retrogrado. L'utilizzo dei video ha permesso di rispondere a molte di queste domande, mostrando il moto retrogrado e alcuni degli strumenti che venivano utilizzati.
 - I primi modelli geocentrici, di Eudosso e degli epicicli, fino a quello di Tolomeo, e quello eliocentrico di Aristarco, che poi sarà ripreso da Copernico, vengono spiegati con l'aiuto dei video, mettendo in evidenza di ciascuno i limiti (cioè quali fenomeni non riusciva a spiegare) e le novità apportate rispetto al precedente.
-

Platone ■

- "... le stelle, rappresentando oggetti eterni, divini e immutabili, si muovono con velocità uniforme attorno alla Terra, come noi possiamo constatare, e descrivono la più regolare e perfetta di tutte le traiettorie, quella della circonferenza senza fine. Ma alcuni oggetti celesti, cioè il Sole, la Luna, i pianeti, vagano attraverso il cielo e seguono cammini complessi, con inclusione anche di moti retrogradi. Tuttavia, essendo corpi celesti, anch'essi debbono sicuramente muoversi in maniera conforme al loro rango elevato: i loro moti debbono perciò derivare da una qualche combinazione di cerchi perfetti, dal momento che non descrivono esattamente cerchi perfetti. Quali sono le combinazioni di moti circolari con velocità uniforme che possono spiegare così peculiari variazioni in un insieme coerente di moti regolari nel cielo?"
-

uno dei video proposti e discussi in classe



The screenshot shows a web browser window displaying the Museo Galileo website. The page title is "Museo Virtuale Multimediale Sistema di Eudosso". The main content area features a video player with a thumbnail image of a celestial globe. The video player has a progress bar at the bottom showing 1:01. To the right of the video player, there are two buttons: "Scarica video" and "Scarica audio". Above the video player, there is a "Video Testi" section. Below the video player, there is a section titled "Operti" with a small icon of a globe and the text: "Sistema di Eudosso. Centro di Studi e Restauro per la valorizzazione di orologi antichi e strumentaria storico-scientifica - ITIS Leonardo da Vinci, Firenze, 2011".

il modello tolemaico

- “La nostra opinione è che i cieli sono sferici e che si muovono in maniera sferica; che la Terra per quanto riguarda la forma è sensibilmente sferica ...; per ciò che riguarda la sua posizione è posta nel giusto mezzo dei cieli, a guisa di centro geometrico; per ciò che riguarda le dimensioni e la distanza, la Terra è come un punto rispetto alla sfera delle stelle fisse, e non è animata da alcun moto locale ...”
-

argomenti proposti e discussi in classe

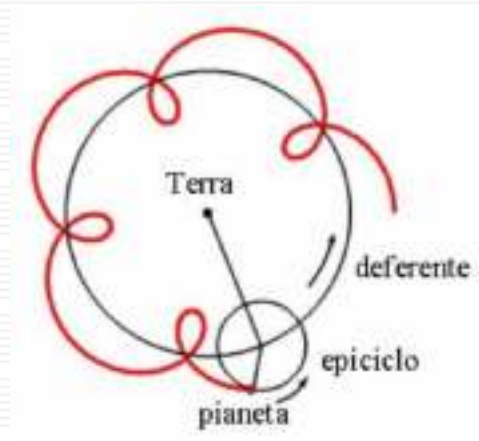


-
- Come si concilia il fatto che i pianeti debbano muoversi di moto circolare uniforme con:
 - le fasi di moto retrogrado?
 - la diversa velocità del Sole nei mesi estivi e invernali?
 - i tempi e le caratteristiche dei moti retrogradi?

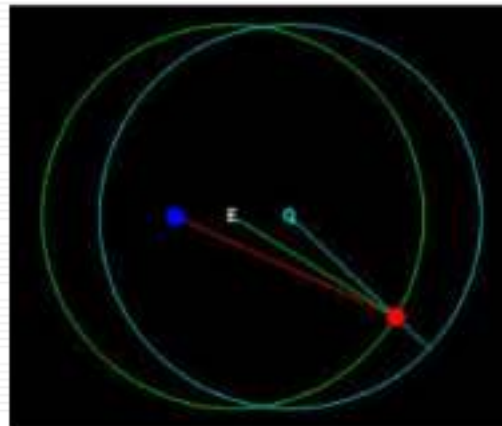
 - La discussione in classe successiva alla lettura del brano di Tolomeo voleva mettere in evidenza le ragioni su cui si basavano le sue affermazioni.
 - Gli studenti sono stati in grado di formulare alcune possibili motivazioni solo sul fatto che la Terra fosse sferica.
 - Le altre caratteristiche del modello citate nel brano sono state giustificate dall'insegnante.
-

argomenti proposti e discussi in classe: **il modello tolemaico**

- gli accorgimenti matematici per spiegare le “apparenti irregolarità” del moto dei pianeti



epicicli



eccentrici



equanti

la Prefazione al *De Revolutionibus orbium coelestium*

- "... nient'altro mi mosse a pensare a un altro modo di calcolare i movimenti delle sfere del mondo se non che compresi che i matematici stessi non sono d'accordo fra loro sul modo di determinarli. Prima di tutto, infatti, sono a tal punto incerti sul movimento del Sole e della Luna da non poter dimostrare e osservare la grandezza costante dell'anno che volge. Poi, nel determinare i moti sia degli astri sopra nominati sia delle altre cinque stelle erranti essi non utilizzano gli stessi principi e postulati e le stesse dimostrazioni delle rivoluzioni e dei moti apparenti. Alcuni, infatti, usano solo cerchi omocentrici, altri invece anche eccentrici ed epicicli, con cui però non raggiungono appieno i loro fini E la cosa principale, cioè la forma del mondo e l'esatta simmetria delle sue parti, non poterono né trovarla né ricavarla da essi; ma accadde loro come ad un (artista) che traesse da luoghi diversi mani, piedi, testa e altre membra, di per sé bellissime ma non formate in funzione dello stesso corpo e non corrispondenti affatto tra loro, per comporre piuttosto un mostro che un uomo ..."
-

argomenti proposti e discussi in classe: **il modello copernicano**

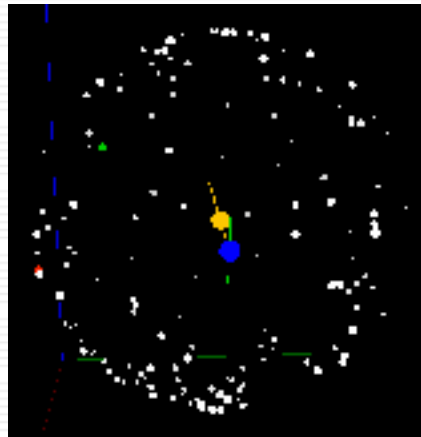
- ***il mondo è sferico ...*** sia perché questa forma è la più perfetta di tutte, sia perché ... tutte le cose tendono a delimitarsi in tal modo, come avviene nelle gocce d'acqua e negli altri corpi liquidi
 - ***la Terra è sferica:*** ... è necessario che la Terra, con le acque che l'attorniano, abbia la forma che mostra la sua ombra; essa infatti nelle eclissi, produce sulla Luna un cerchio perfetto
 - ***i corpi celesti si muovono perpetuamente di moto circolare uniforme:*** i loro movimenti sono circolari o composti di più cerchi, perché compiono queste ineguaglianze secondo una certa legge e con ritorni periodici, il che non potrebbe accadere se non fossero circolari. Solo il cerchio, infatti, può riportare le cose passate ...
 - ***il centro della Terra non coincide col centro di tutte le orbite celesti:*** ... poiché i pianeti erranti sono veduti più vicino alla Terra e più lontani, di necessità si arguisce che il centro della Terra non è il centro dei loro cerchi. E tanto meno si sa se la Terra ad essi o essi alla Terra si approssimano o si allontanano ...
-

argomenti proposti e discussi in classe: **il modello copernicano**

- ***i pianeti, Terra compresa, ruotano di moto circolare uniforme attorno al Sole, che si trova così al centro dell'Universo:*** ... la prima e la più alta di tutte le sfere è la sfera delle stelle fisse che contiene sé stessa e tutte le cose ed è perciò immobile; senza dubbio è il luogo dell'Universo cui si rapporta il movimento e la posizione di tutte le altre stelle Segue, dei pianeti, per primo Saturno, che compie il suo circuito in trent'anni. Dopo di questo Giove, che si muove con una rivoluzione di dodici anni. Poi Marte, che ruota in un biennio. Occupa il quarto luogo, nell'ordine, la Terra, con l'orbe lunare come epiciclo. Nel quinto luogo Venere ritorna in nove mesi. Mercurio, finalmente, occupa il sesto luogo, girando intorno nello spazio di 80 giorni. In mezzo a tutti sta il Sole
-

argomenti proposti e discussi in classe: **il modello copernicano**

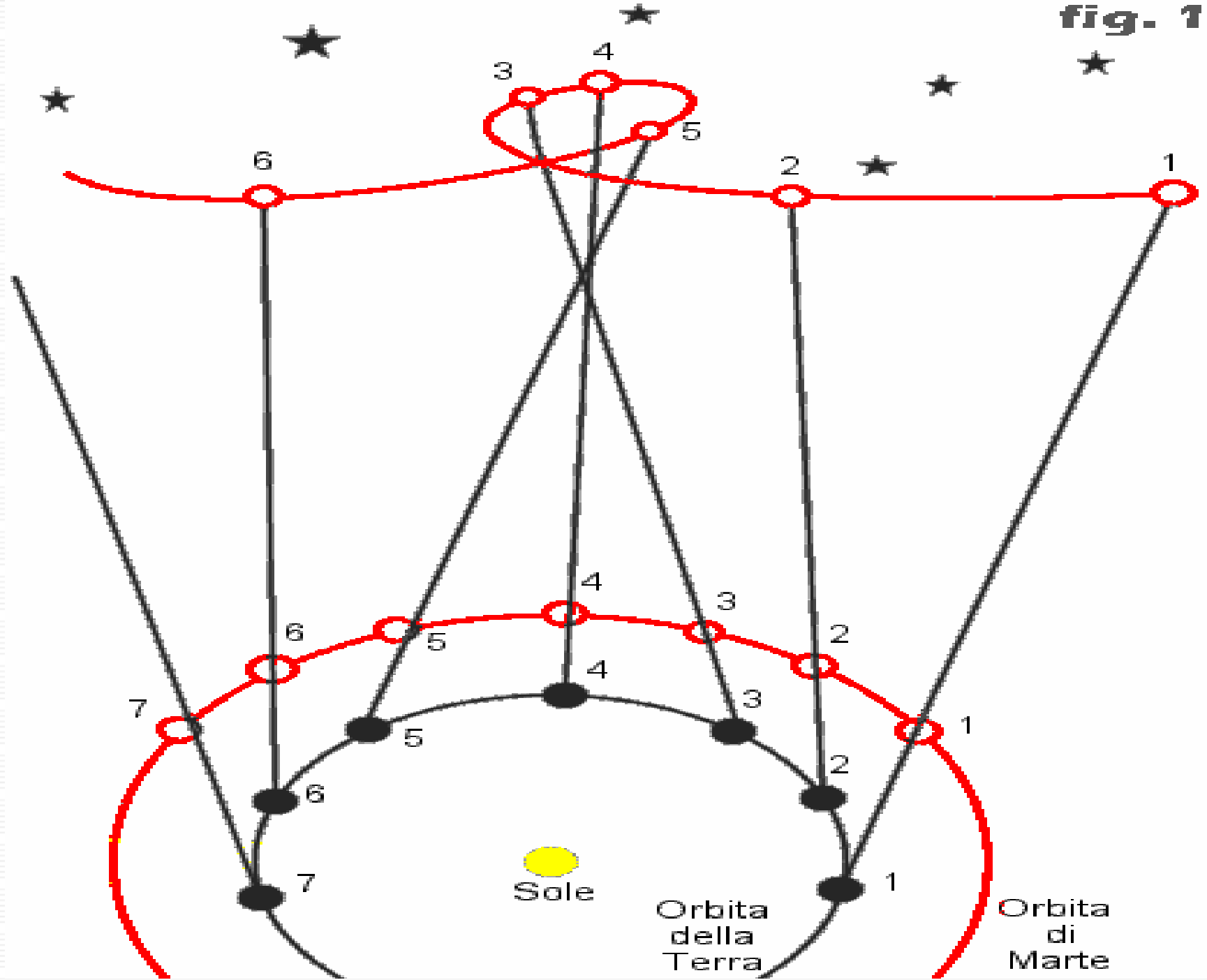
- ***ciò che appare come moto del Sole deriva dal moto della Terra***: ... poiché il Sole resta immobile, tutto ciò che appare come movimento del Sole, si verifica per la mobilità della Terra



argomenti proposti e discussi in classe: **il modello copernicano**

- ***La distanza Terra-Sole è trascurabile rispetto alle dimensioni dell'Universo:*** ... la grandezza del mondo è tale che, mentre la distanza della Terra dal Sole, confrontata alla grandezza di qualunque altro orbe dei pianeti ha, ... una grandezza piuttosto notevole, raffrontata alla sfera delle stelle fisse quasi scompare
 - ***I movimenti dei pianeti derivano da una combinazione dei loro moti con quello della Terra:*** ... se il movimento fosse trasferito dal Sole alla Terra, attribuendo l'immobilità al Sole ... si vedrebbe che le stazioni, recessioni e progressioni dei pianeti sono movimenti non loro, ma della Terra
 - ***La Terra possiede più moti:*** ... il primo è il circuito proprio del giorno e della notte, che si volge attorno all'asse terrestre da occidente a oriente ... il secondo è il movimento annuale del centro, che descrive attorno al Sole, egualmente da occidente a oriente, il cerchio dello Zodiaco...
-

fig. 1



argomenti proposti e discussi in classe

□ **le obiezioni al modello copernicano**

- se la Terra ruotasse dovrebbe esplodere
- nuvole e uccelli dovrebbero "restare indietro" rispetto alla Terra rotante
- se la Terra ruotasse si dovrebbe osservare la "parallasse stellare"

□ **le risposte**

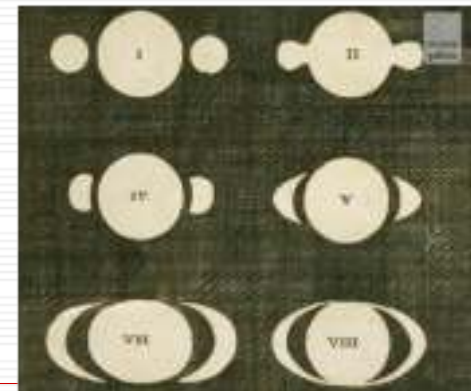
- a maggior ragione dovrebbe esplodere la sfera delle stelle fisse
 - l'atmosfera terrestre viene trascinata con sé dalla Terra
 - le dimensioni dell'Universo sono così grandi che la parallasse non può essere percepita ad occhio nudo
-

argomenti proposti e discussi in classe: **un confronto tra modello tolemaico e copernicano**

- In entrambi i modelli i pianeti si **devono** muovere di moto circolare uniforme perché solo il moto circolare si confà alla loro natura divina.
 - La maggior semplicità concettuale del modello copernicano non esclude l'utilizzo di eccentrici ed epicicli (ma non di equanti), per spiegare le irregolarità dei moti celesti.
 - Il potere esplicativo e predittivo dei due modelli è analogo.
 - Mentre nel modello tolemaico erano noti solo i rapporti tra i raggi degli epicicli e dei deferenti, nel modello copernicano tutte le distanze erano calcolate in funzione della distanza Terra-Sole.
-

argomenti proposti e discussi in classe: *Galilei e le osservazioni col telescopio*

- ❑ Sidereus Nuncius
- ❑ le stelle
- ❑ i monti e le valli della Luna
- ❑ le macchie solari
- ❑ i satelliti di Giove
- ❑ il sistema di Saturno



argomenti proposti e discussi in classe: *Galilei, il "Dialogo", la condanna, l'abiura*

Io Galileo, fig.lo del q. Vinc.o Galileo di Fiorenza, dell'età mia d'anni 70, costituito personalmente in giudizio, et inginocchiato avanti di voi Emin.mi et Rev.mi Cardinali, giuro che sempre ho creduto, credo adesso, e con l'aiuto di Dio crederò per l'avvenire, tutto quello che tiene, predica et insegna la S.a Cattolica et Apostolica Chiesa. Ma perchè da questo S. Off.o, per haver io, dopo d'essermi stato con precetto dall'istesso giuridicamente intimato che omninamente dovessi lasciar la falsa opinione che il sole sia centro del mondo e che non si muova e che la terra non sia centro del mondo e che si muova, e che non potessi tenere, difendere nè insegnare in qualsivoglia modo, nè in voce nè in scritto, la detta falsa dottrina, e dopo d'essermi notificato che detta dottrina è contraria alla Sacra Scrittura, scritto e dato alle stampe un libro nel quale tratto l'istessa dottrina già dannata et apporto ragioni con molta efficacia a favor di essa, senza apportar alcuna solutione, sono stato giudicato vehementemente sospetto d'heresia, cioè d'haver tenuto e creduto che il sole sia centro del mondo et immobile e che la terra non sia centro e che si muova;

Pertanto, volendo io levar dalla mente delle Eminenze V.re e d'ogni fedel Christiano questa vehemente sospitione, giustamente di me conceputa, con cuor sincero e fede non finta abiuro, maledico e detesto li sudetti errori et heresie, e generalmente ogni et qualunque altro errore, heresia e setta contraria alla S.ta Chiesa; e giuro che per l'avvenire non dirò mai più nè asserirò, in voce o in scritto, cose tali per le quali si possa aver di me simile sospitione; ma se conoscerò alcun heretico o che sia sospetto d'heresia, lo denontiarò a questo S. Offitio, o vero all'Inquisitore o Ordinario del luogo dove mi trovarò. Giuro anco e prometto d'adempire et osservare intieramente tutte le penitenze che mi sono state o mi saranno da questo S. Off.o imposte; e contravenendo ad alcuna delle dette mie promesse e giuramenti, il che Dio non voglia, mi sottometto a tutte le pene e castighi che sono da' sacri canoni et altre constitutioni generali e particolari contro simili delinquenti imposte e promulgate. Così Dio m'aiuti e questi suoi santi Vangeli, che tocco con le proprie mani.

Io Galileo Galilei sodetto ho abiurato, giurato, promesso e mi sono obligato come sopra; et in fede del vero, di mia propria mano ho sottoscritta la presente cedola di mia abiuratione et recitatala di parola in parola, in Roma, nel convento della Minerva, questo dì 22 giugno 1633.

Io Galileo Galilei ho abiurato come di sopra, mano propria.

video proposto e discusso in classe



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying "catalogo.museogalileo.it/multimedia/SistemaTychoBrahe.html". The page content includes the "museo galileo" logo, the title "Museo Virtuale Multimediale Sistema di Tycho Brahe", and a video player. The video player shows a diagram of the Tycho Brahe system with a central star and several concentric orbits. Below the video player, there are controls for play, pause, and volume, along with a progress bar showing "2:14". To the right of the video player, there are links for "Scarica video" and "Scarica audio". At the bottom of the page, there is a copyright notice: "© 2010 Museo Galileo - (IRPA) e Museo di Storia della Scienza - Piazza dei Galilei 1 - 50122 Firenze - ITALIA".

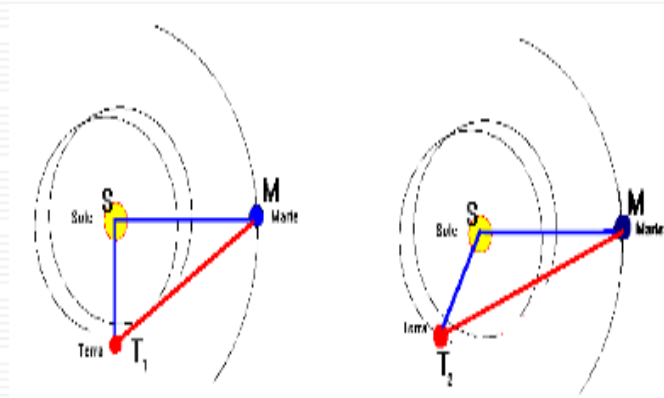
argomenti proposti e discussi in classe: Keplero e la forza che "spinge" i pianeti lungo le loro orbite



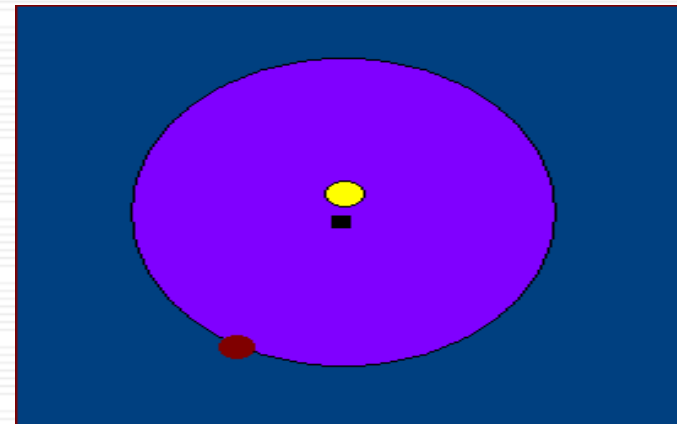
- il *Mysterium Cosmographicum*
- l'interpretazione "realistica" del modello copernicano
- poiché i periodi dei pianeti sono direttamente proporzionali alla loro distanza dal Sole deve esistere un unico "centro motore" i cui effetti sono tanto più rilevanti quanto minore è la loro distanza dal Sole
- il ruolo del Sole come sorgente di forza che spinge i pianeti lungo la loro orbita
- il rifiuto di utilizzare gli epicicli coi quali un pianeta ruota attorno a un centro "vuoto" che non può essere considerato causa di alcun moto
- la collaborazione con Tycho Brahe e l'analisi dell'orbita di Marte
- dopo 5 anni di lavoro e 70 tentativi infruttuosi Keplero si convince del fatto che *non vi è modo di conciliare tra loro le ipotesi della circolarità e uniformità del moto*
- per determinare l'orbita di Marte è prima necessario determinare l'orbita della Terra

argomenti proposti e discussi in classe: **Keplero e la determinazione dell'orbita terrestre**

effettuando osservazioni intervallate da un anno marziano, l'orbita della Terra è determinata come l'insieme dei punti di intersezione delle rette MT_i e ST_i che uniscono la Terra con Marte e il Sole



- la Terra descrive una traiettoria quasi circolare, con il Sole in posizione leggermente eccentrica rispetto al centro dell'orbita



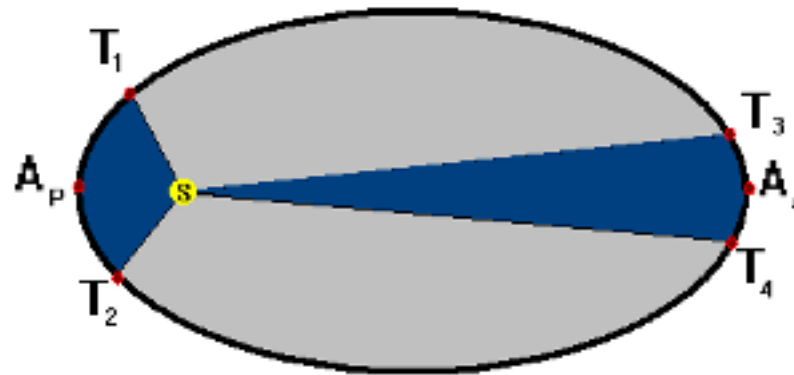
argomenti proposti e discussi in classe: **verso la formulazione della legge delle aree**

Keplero osserva che:

- ❑ la velocità della Terra è maggiore in prossimità del perielio che dell'afelio
 - ❑ le orbite di tutti i pianeti si intersecano lungo una retta passante per il Sole
 - ❑ ipotizza che il Sole sia sorgente di una forza che agisce solo nei piani delle orbite e sia inversamente proporzionale alla distanza dal Sole
 - ❑ ritiene che la forza emanata dal Sole *spinga* i pianeti lungo le loro orbite
-

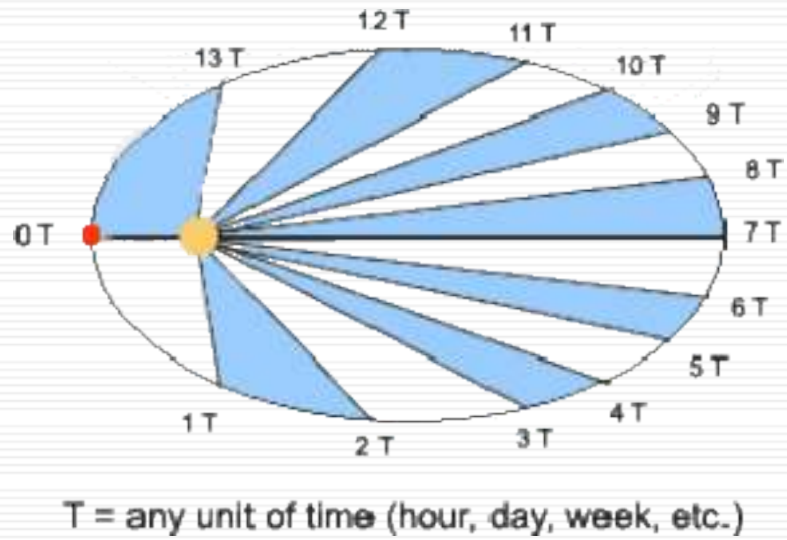
argomenti proposti e discussi in classe: **verso la formulazione della legge delle aree**

- Keplero dimostra che i triangoloidi ST_1T_2 e ST_3T_4 sono equivalenti. Ciò significa che vi è una proporzionalità inversa tra le velocità di un pianeta lungo i due tratti di orbita e le corrispondenti distanze dal Sole. La sua dimostrazione si riferisce, però, solo agli absidi dell'orbita della Terra e Marte anche se viene estesa a tutti i punti dell'orbita.



argomenti proposti e discussi in classe: **la legge delle aree**

- la variazione della velocità di un pianeta lungo la sua orbita è tale che il raggio vettore che congiunge il pianeta al Sole descrive aree uguali in intervalli di tempo uguali



argomenti proposti e discussi in classe: **la determinazione dell'orbita di Marte e la legge delle orbite** ■

- la legge delle aree si rivelò inutile ai fini della determinazione dell'orbita di Marte
 - Keplero decise di sottoporre a verifica anche l'ipotesi che le orbite dei pianeti fossero circolari
 - confronta le distanze Marte-Sole che si ottenevano in base alle osservazioni con quelle che si sarebbero dovute ottenere in base all'ipotesi che l'orbita fosse circolare
 - *“E' immediato concludere che la traiettoria del pianeta non è una circonferenza, perché si può notare l'esistenza di due tratti molto incurvati, anch'essi contrapposti. Una simile curva viene comunemente indicata con il nome di ovale”*
 - Keplero riesce a concludere che l'orbita di Marte è una ellisse, in cui il Sole è posto in uno dei due fuochi
 - estende a tutti i pianeti i risultati ottenuti nel caso di Marte affermando che le orbite di tutti i pianeti sono ellissi con il Sole in uno dei fuochi
-

argomenti proposti e discussi in classe: *perché le orbite dei pianeti sono ellittiche?*

- ❑ con le leggi delle orbite e delle aree Keplero segna la morte definitiva dell'assioma sulla circolarità e uniformità del moto
 - ❑ tenta, per la prima volta in astronomia, di fornire una spiegazione "fisica" delle modalità con cui avvengono i fenomeni
 - ❑ sfruttando l'idea proposta da Gilbert nel "De Magnete" ritiene che le orbite ellittiche siano il risultato dell'interazione tra i pianeti, considerati come magneti, e la forza emessa dal Sole
 - ❑ ritiene che, se fosse cessata la forza emanata dal Sole, i pianeti si sarebbero fermati
-

argomenti proposti e discussi in classe: ***l'armonia del mondo e la legge dei periodi***

- *"...dopo un indefesso lavoro durato lungo tempo, utilizzando le osservazioni di Brahe, ho scoperto il vero legame ... e si è manifestato con un accordo così completo tra i miei studi durati 17 anni e le osservazioni di Tycho, che all'inizio credetti di sognare ..."*
- i quadrati dei periodi di rivoluzione dei pianeti sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle rispettive orbite ellittiche:

$$\frac{T_1^2}{A_1^3} = \frac{T_2^2}{A_2^3} = \frac{T_3^2}{A_3^3} = \dots\dots\dots K$$

argomenti proposti e discussi in classe: ESERCITAZIONE IN CLASSE – GLI STUDENTI HANNO LAVORATO A GRUPPI

- Si considerino le affermazioni sottostanti e si completi lo schema, riportando la lettera che corrisponde all'affermazione nella riga relativa.
- A) Non è possibile osservare la parallasse stellare perché la distanza tra la Terra e la sfera delle stelle fisse è troppo grande perché sia possibile osservarla
- B) Esiste un unico centro per le orbite dei pianeti
- C) Tutti i corpi celesti devono muoversi di moto circolare uniforme attorno alla Terra
- D) I corpi cadono verso Terra perché la Terra è il loro luogo naturale
- E) Non esiste un unico centro per le orbite dei pianeti
- F) I pianeti sono sei perché sei sono i solidi regolari

Aristotele	B	C	D					
Keplero	F	E?						
Tolomeo	C							
Copernico	A	C	E					

- Nel modello copernicano:
- ~~A~~ non vengono utilizzati gli equanti
- B. gli epicicli hanno tutti lo stesso periodo
- C. non sono note le distanze tra i vari pianeti
- ~~D~~ il Sole è la sorgente di forza che muove i pianeti

Esercitazione in classe

L'orbita della Terra attorno al Sole è ellittica. La distanza dal Sole varia da un valore minimo $r_1 = 1,47 \cdot 10^{11} \text{ m}$ a un valore massimo $r_2 = 1,52 \cdot 10^{11} \text{ m}$. Si valuti, usando la seconda legge di Keplero, il rapporto tra i moduli della velocità della Terra in afelio e in perielio e la loro differenza percentuale

$$r_1 = 1,47 \times 10^{11} \text{ Km}$$

$$r_2 = 1,52 \times 10^{11} \text{ Km}$$

~~F = m \cdot a~~

$$\frac{v_a}{v_p} = ? \rightarrow 1,47 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$\rightarrow 1,52 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$a_p = \frac{m_s \cdot G}{r_1^2}$$

$$\frac{v^2}{r_1} = \frac{m_s \cdot G}{r_1^2}$$

$$v^2 \cdot r_1^2 = m_s \cdot G \cdot r_1$$

$$v^2 = \frac{m_s \cdot G \cdot r_1}{r_1^2}$$

$$v_p = \sqrt{\frac{m_s \cdot G \cdot r_1}{r_1^2}} \quad v_a = \sqrt{\frac{m_s \cdot G \cdot r_2}{r_2^2}}$$

$$\frac{v_a}{v_p} = \sqrt{\frac{m_s \cdot G \cdot r_2}{r_2^2} \cdot \frac{r_1^2}{m_s \cdot G \cdot r_1}}$$

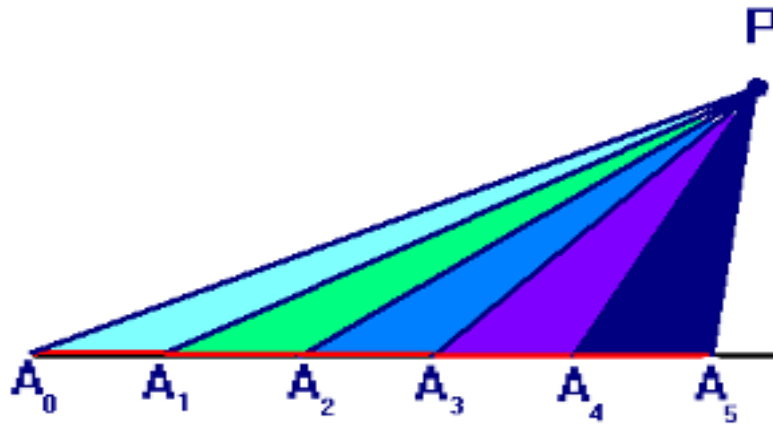
$$\frac{v_a}{v_p} = \sqrt{\frac{r_2 \cdot r_1^2}{r_2^2 \cdot r_1}} = \sqrt{\frac{r_1}{r_2}}$$

$$\frac{v_a}{v_p} = \sqrt{\frac{1,47 \times 10^{11}}{1,52 \times 10^{11}}}$$

$$\frac{v_a}{v_p} = 0,98$$

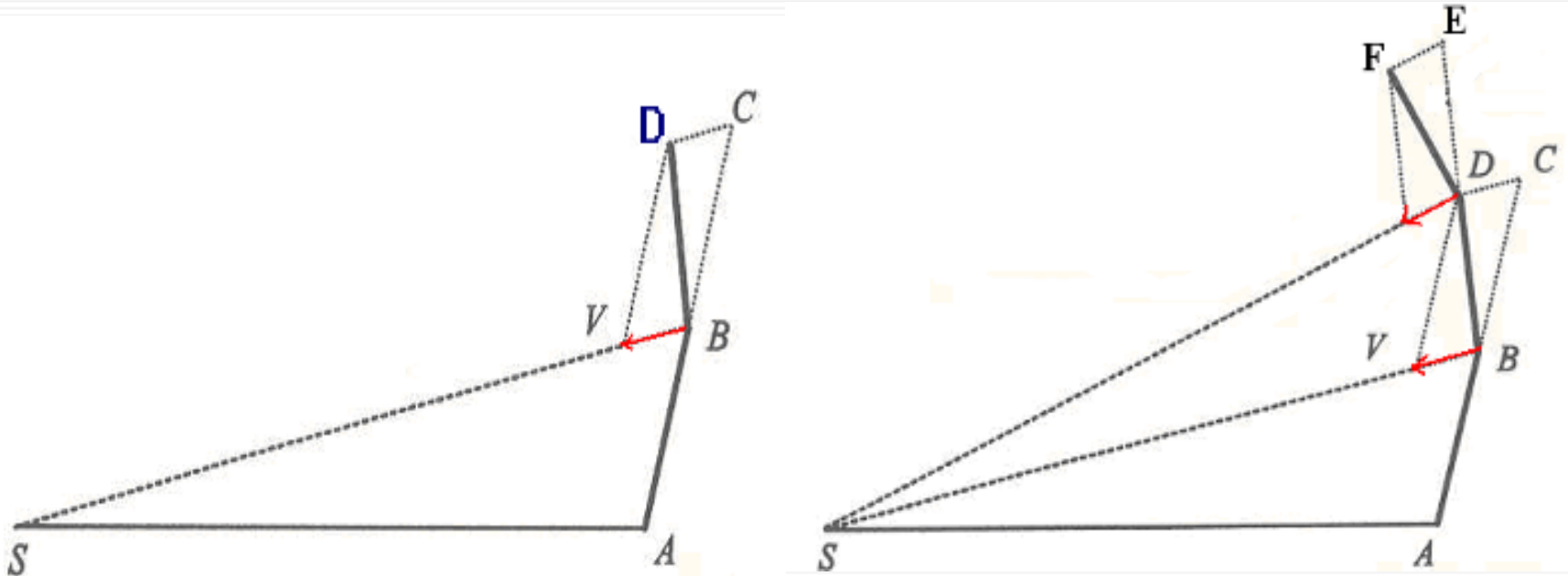
argomenti proposti e discussi in classe: **le tappe della dimostrazione di Newton** ■

- un corpo in moto rettilineo uniforme si muove in accordo con la legge delle aree di Keplero



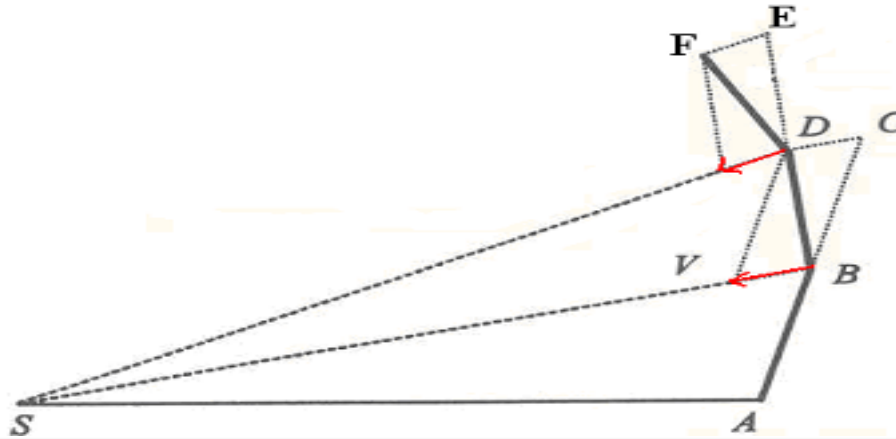
i triangoli PA_0A_1 , PA_1A_2 , PA_2A_3 , ... sono tra loro equivalenti perché hanno la stessa base e la stessa altezza

argomenti proposti e discussi in classe: le tappe della dimostrazione di Newton ■



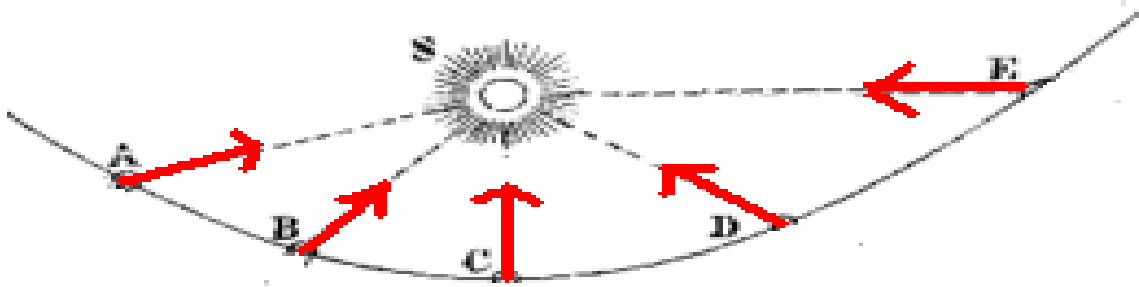
Un corpo, inizialmente in moto rettilineo uniforme, mentre passa per B è sottoposto a una forza diretta verso S. Nell'intervallo di tempo che sarebbe necessario al corpo per percorrere il tratto BC di moto rettilineo uniforme il corpo si sposta anche lungo il tratto BV. La combinazione dei due spostamenti porta il corpo in D. In D il corpo è sottoposto a una forza diretta verso S che porta il corpo dalla posizione E che occuperebbe se si muovesse di moto rettilineo uniforme alla posizione F.

argomenti proposti e discussi in classe: **le tappe della dimostrazione di Newton** ■



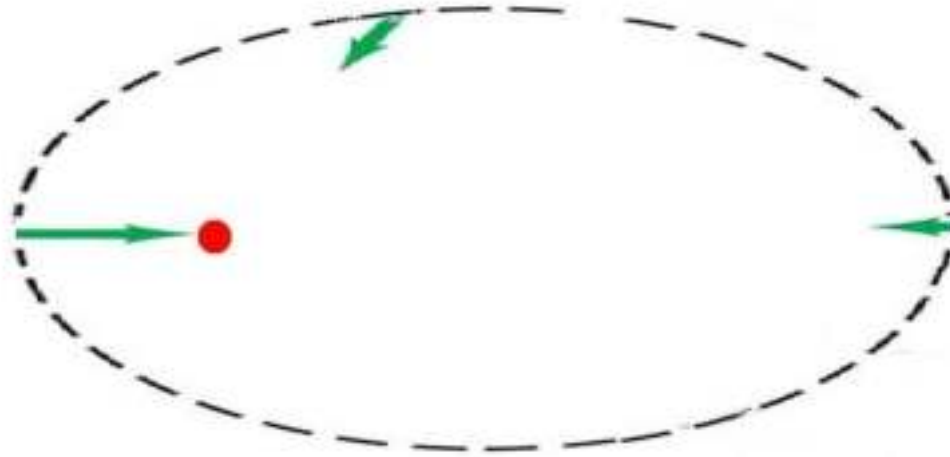
- i triangoli SAB, SBD, SDF sono equivalenti
 - generalizzando il procedimento Newton può affermare che un corpo sottoposto a una forza centripeta descrive una poligonale in accordo con la legge delle aree di Keplero
-

argomenti proposti e discussi in classe: **le tappe della dimostrazione di Newton** ■



- nel caso limite in cui l'intervallo di tempo tra i vari istanti in cui viene applicata la forza tenda a zero, *la traiettoria descritta dal corpo sarà una curva, descritta in accordo con la legge delle aree di Keplero*
-

argomenti proposti e discussi in classe: **le tappe della dimostrazione di Newton**



- l'orbita è ellittica se la forza è, oltre che centripeta, inversamente proporzionale al quadrato della distanza
-

argomenti proposti e discussi in classe: la dimostrazione nel caso di un'orbita circolare

Un corpo che si muove lungo un'orbita circolare è sottoposto a una accelerazione centripeta: $a_c = \frac{v^2}{r}$ da cui, poiché: $v = \frac{2\pi R}{T}$; $a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$

Utilizzando la legge dei periodi: $k = \frac{T^2}{r_m^3}$

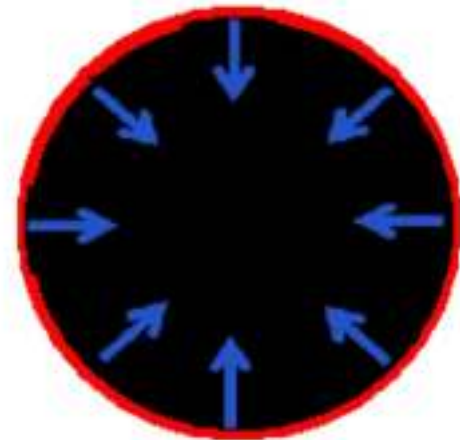
si ottiene: $a_c = \frac{4\pi^2 r}{kr_m^3}$ e, dato che in una circonferenza $r = r_m$:

$$a_c = \frac{4\pi^2}{k} \frac{1}{r^2}$$

Utilizzando la seconda legge della dinamica si ottiene:

$f_c = m \frac{4\pi^2}{k} \frac{1}{r^2}$ o, poiché $m \frac{4\pi^2}{k}$ è costante.

$$f_c \equiv \frac{1}{r^2}$$



argomenti proposti e discussi in classe

- il fatto che la forza centripeta sia inversamente proporzionale al quadrato della distanza è un risultato ottenuto utilizzando *contemporaneamente* le leggi che descrivono la dinamica dei corpi sulla Terra e quelle che descrivono il moto dei pianeti
 - per la prima volta cieli e Terra vengono trattati nello stesso modo
-

argomenti proposti e discussi in classe: verso la formulazione della legge di gravitazione universale

- Nella dimostrazione di Newton la Terra è considerata una massa puntiforme e il Sole un centro di forza immobile.
 - Newton si rese ben presto conto che questa situazione era di fatto inesistente nel mondo reale dato che “ *... le attrazioni sono dirette abitualmente verso corpi e, per la terza legge del moto, le azioni dei corpi che si attraggono e che sono attratti sono sempre reciproche e uguali ...*”.
-

argomenti proposti e discussi in classe: **verso la formulazione della legge di gravitazione universale** ■

- *"... se ci sono due corpi, né il corpo che attrae né il corpo che è attratto possono essere in quiete". Entrambi i corpi " orbitano attorno a un centro comune, come in virtù di una reciproca attrazione".*
 - Nel sistema solare devono esservi non uno ma tanti centri di forza, uno per ogni pianeta. Di conseguenza, ogni pianeta interagirà non solo col Sole, ma con ciascuno degli altri pianeti del sistema solare.
 - *"Ci sono tante orbite di un pianeta quante sono le sue rivoluzioni ... e l'orbita di ciascun pianeta dipende dal moto combinato di tutti i pianeti, per non menzionare le reciproche azioni che essi esercitano reciprocamente l'uno sull'altro ... "*
-

argomenti proposti e discussi in classe: verso la formulazione della legge di gravitazione universale

- Newton riconosce che la forza con cui due corpi si attraggono deve essere proporzionale alle masse di entrambi i corpi:

“Poiché inoltre l'azione della forza centripeta sul corpo attratto è proporzionale, a pari distanza, alla materia contenuta in questo corpo, è ragionevole che essa sia proporzionale anche alla materia contenuta nel corpo che attrae. L'azione è perciò reciproca, e fa sì che i due corpi con un reciproco sforzo si avvicinino vicendevolmente; tale azione deve perciò essere simile a se stessa in entrambi. Un corpo può essere considerato come quello che attrae, mentre l'altro è attratto: ma si tratta di una distinzione più matematica che naturale. L'attrazione in verità è esercitata da ognuno dei due corpi sull'altro, e pertanto è della medesima specie in entrambi.”

argomenti proposti e discussi in classe: **verso la formulazione della legge di gravitazione universale**

- Ciò che avviene per una coppia di corpi deve avvenire per ogni coppia di corpi:

"Si può dunque affermare che la forza attrattiva si trova in entrambi. Il Sole attrae Giove e gli altri pianeti, Giove attrae i suoi satelliti, e per una eguale ragione questi agiscono l'uno sull'altro e su Giove, e tutti i pianeti agiscono reciprocamente gli uni sugli altri."

argomenti proposti e discussi in classe: l'applicazione al sistema Terra-Luna

- se la forza di interazione gravitazionale tra Terra e Luna è la stessa forza che determina la caduta libera dei corpi verso la Terra, anche l'accelerazione dovrà essere inversamente proporzionale al quadrato delle distanze in gioco
 - dato che la distanza Terra - Luna è circa 60 volte il raggio terrestre, l'accelerazione della Luna verso la Terra dovrà essere circa $1/3600$ di quella che hanno i corpi in prossimità della superficie terrestre, cioè circa $(9,81/3600)\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ossia circa $2,72\cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
 - nell'approssimazione di un'orbita circolare l'accelerazione centripeta della Luna è espressa da: $a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$
 - utilizzando i valori $r=3,8\cdot 10^8\text{m}$, $T=2,36\cdot 10^3\text{s}$
 - si ottiene $a_c = 2,7\cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
-

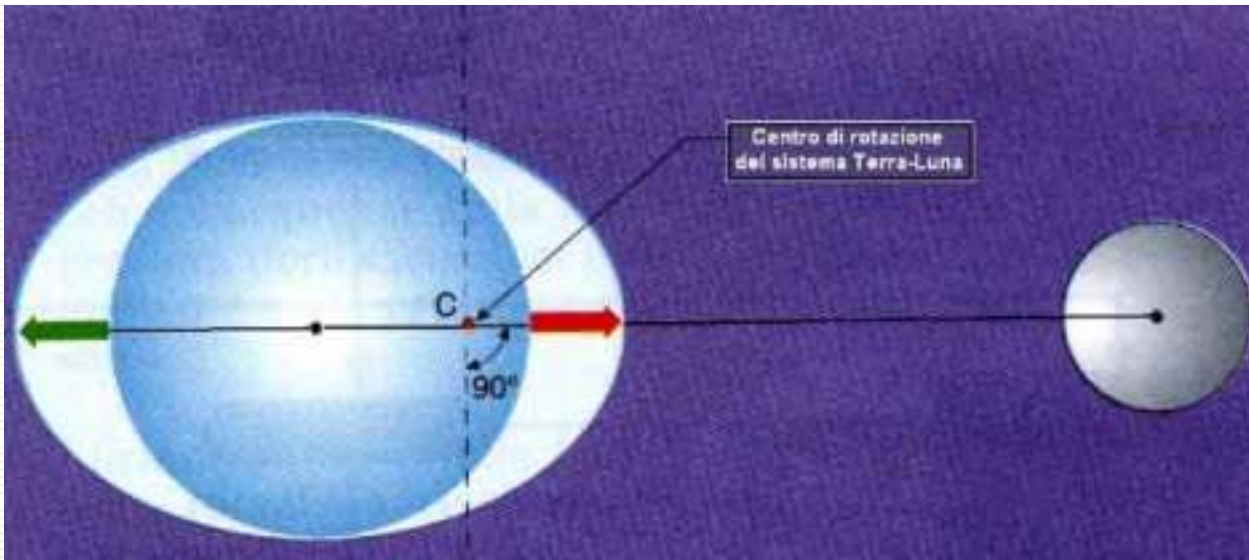
argomenti proposti e discussi in classe: **la legge di gravitazione universale**

- vi è un'unica forza che regola sia il moto dei pianeti nei cieli che quello dei corpi sulla Terra.
- tutti i corpi devono attrarsi reciprocamente con una forza direttamente proporzionale alle masse di entrambi i corpi interagenti e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza

$$\vec{F}_{21} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

argomenti proposti e discussi in classe:

- la caduta dei corpi con la medesima accelerazione
- le maree



verifica apprendimenti: tipologie ■

- test a risposta multipla
- test a risposta aperta
- problemi :
- con soluzione numerica
- sommativi e di tipo concettuale

VERIFICA DI FISICA

rispondi alle seguenti domande:

1. Che cosa si intende per "moto retrogrado" dei pianeti?
2. Che cosa non riusciva a spiegare il modello di Ptolomeo?
- ~~3. In che modo la teoria degli epicicli spiega il moto retrogrado?~~
4. Quali modifiche apportò Tolomeo alla teoria degli epicicli e quali fenomeni riuscì a spiegare con il suo modello?
- ~~5. In che modo il sistema eliocentrico spiega il moto retrogrado dei pianeti?~~
- ~~6. Quali importanti scoperte astronomiche fece Galileo con l'uso del cannocchiale e a quali considerazioni portarono?~~

Risolvi i seguenti problemi:

7. Quando c'è la Luna nuova, la Terra, la Luna e il Sole sono allineati. Trova la forza risultante sulla Luna. ($M_T=5,98 \cdot 10^{24}$ Kg, $M_L=7,36 \cdot 10^{22}$ Kg, $M_S=1,99 \cdot 10^{30}$ Kg, $D_{TL}=1,5 \cdot 10^{11}$ m, $D_{TS}=3,82 \cdot 10^8$ m).
 8. La Terra effettua una rivoluzione completa attorno al Sole una volta all'anno a una distanza media $D_{TS}=1,5 \cdot 10^{11}$ m.
- ** Utilizza questa informazione e la costante $G=6,67 \cdot 10^{-11}$ Nm²/Kg² per calcolare la massa del Sole.

esempio di elaborato degli studenti ■

1) Un moto rettilineo che tutti i pianeti si muovono il moto apparente che essi compiono, risulta ad un osservatore sulla terra che fa sembrare che essi tornano indietro ✓

2) Il modello di Eudemo non bastava a spiegare la differenza di luminosità dei pianeti e la stessa storia della Terra, anzi...

3) Sufocata degli epistemi con il moto retrogrado. Il pianeta muove di moto uniforme su una circonferenza detta epistola, il cui centro si trova su un'altra circonferenza che ruota attorno alla Terra, di nome deferente ✓ La retrogradazione non fanno compiere regresse, ma si compiono intervalli reggressivi.

4) ~~Tolomeo~~ Secondo il modello geocentrico il sistema solare, compiendo sia un moto di rivoluzione che di rotazione circa intorno al Sole, di conseguenza il moto dei vari corpi celesti è apparente così come quello retrogrado e quello del Sole lungo l'eclittica ✓

5) Tramite l'uso del sismografo Galileo scoprì i satelliti di Giove, le macchie solari e i diversi lunari. Questo modello abbandonò la concezione che gli astronomi non lo ✓

6) Tolomeo ^{chiese} ~~si muove~~ i moti in latitudine, ~~ovvero~~ ~~dispari~~ ~~alla~~ ~~terra~~ ~~con~~ ~~la~~ ~~differenza~~ ~~dimensionale~~ ~~rispetto~~ all'eclittica, ma con epistemi mutabili. Il motivo di questa mancanza sembra con l'esperto del teodosio.

Modello di Copernico la posizione dell'epistola, non centrale quella regolare, in rivoluzione eccentrica rispetto alla Terra, che non porta ad avere l'impressione di differenza di velocità rispetto alla Terra.

$$7) F_{LT} = \frac{G \cdot M_T \cdot M_L}{D_{TL}^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \cdot 7,36 \cdot 10^{22}}{(3,32 \cdot 10^8)^2}$$

$$= 20,42 \cdot 10^{19} \text{ N}$$

$$F_{TS} = \frac{G \cdot M_T \cdot M_S}{D_{TS}^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \cdot 1,99 \cdot 10^{30}}{(1,5 \cdot 10^{11})^2}$$

$$= 35,27 \cdot 10^{21} \text{ N}$$

$$F_{TL} = 35,27 \cdot 10^{21} - 20,42 \cdot 10^{19} = 3,50 \cdot 10^{22} \text{ N}$$

verifica febbraio 2014

1. La costante G che compare nella legge di gravitazione universale:

- A) è un numero cui non è associata alcuna dimensione
- B) si misura in $N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$
- C) si misura in newton
- D) si misura in $N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$

2. Dalla legge delle aree si ricava che:

- A) tutti i pianeti dell'universo si muovono su orbite ellittiche
- B) i pianeti si muovono tanto più velocemente quanto meno distano dal Sole
- C) i pianeti si muovono più velocemente in afelio che in perielio
- D) le aree spazzate dai pianeti sono uguali

3. Le seguenti affermazioni si riferiscono alla forza gravitazionale F con cui interagiscono due masse. Individua l'affermazione errata.

- A) F è tanto maggiore quanto maggiori sono le masse
- B) F è tanto maggiore quanto minore è la distanza tra le masse
- C) F è inversamente proporzionale alla distanza
- D) Tutte le affermazioni precedenti sono corrette

4. Un uomo, sulla Terra, pesa 800 N. Quale sarebbe il suo peso se venisse portato ad una altezza pari a due raggi terrestri?

- A) 800 N
- B) circa 267 N, perché la distanza dal centro della Terra è triplicata
- C) circa 89 N
- D) non ci sono sufficienti elementi per rispondere

5. Durante il primo viaggio sulla Luna gli astronauti prelevarono dei campioni che vennero accuratamente pesati con un dinamometro. Una volta rientrati sulla terra i campioni vennero nuovamente pesati con lo stesso dinamometro. Si trovò che:

- A) il peso dei campioni era invariato
- B) i campioni avevano un peso maggiore
- C) i campioni avevano un peso minore
- D) poiché non si conosce la massa dei campioni, non è possibile azzardare alcuna ipotesi

6. La massa del Sole è circa 10^3 volte la massa di Giove. Qual è il rapporto tra la forza che il Sole esercita su Giove e quella che Giove esercita sul Sole?

- A) 1:1000
- B) 1:1
- C) 1000:1
- D) non esiste alcun rapporto tra le due forze

14. Supponiamo che un pianeta, secondo la teoria di Tolomeo, ruoti sull'epiciclo con velocità angolare tre volte più grande della velocità angolare del centro dell'epiciclo intorno alla Terra. Quante inversioni di moto si hanno in un giro completo del centro dell'epiciclo?

- A. 3
- B. 9
- C. 1
- D. nessuna

15. Considerando l'attrazione gravitazionale tra la Terra e la Luna, possiamo affermare che:

- A. è la Terra che attrae la Luna e non viceversa, perché è la Luna che ruota intorno alla Terra
- B. è la Terra che attrae la Luna e non viceversa, perché la massa della Terra è più grande della massa della Luna
- C. Terra e Luna si attraggono reciprocamente con forze il cui rapporto è uguale al rapporto delle masse
- D. Terra e Luna si attraggono reciprocamente con forze aventi la stessa intensità

16. Se la Terra avesse un raggio doppio di quello che ha e la stessa massa, la forza con cui la Terra attrae un corpo sulla sua superficie di quale fattore sarebbe alterata?

- A. 2
- B. 1/4
- C. 4
- D. 1/8

17. Possiamo affermare che l'accelerazione di gravità terrestre g :

- A. dipende dalla forma, dalle dimensioni e dalla natura del corpo considerato
- B. è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dal centro della Terra
- C. è massima all'equatore, dove è massimo il raggio della Terra
- D. è minima ai poli, dove è minimo il raggio della Terra

18. È noto che l'accelerazione di gravità sulla Luna è 1/6 di quella che si ha sulla Terra. Quale delle seguenti affermazioni è esatta?

- A. Il peso di un corpo sulla Luna è 6 volte più grande di quello che si ha sulla Terra.
- B. La massa inerziale di un corpo assume ugual valore sulla Terra e sulla Luna.
- C. La massa gravitazionale di un corpo sulla Terra è uguale a 6 volte quella sulla Luna.
- D. La massa gravitazionale di un corpo sulla Terra è 1/6 di quella sulla Luna.

19. Un astronauta in orbita intorno alla Terra seduto su una nave spaziale lascia libera una sferetta che teneva in mano con lo scopo di studiare il moto di caduta per evidenziare eventuali differenze con la caduta libera sulla superficie della Terra. Egli trova che la sferetta:

- A. cade con velocità costante
- B. è ferma
- C. cade con accelerazione minore di g
- D. si muove con accelerazione proporzionale alla massa

20. Nel 1968, un anno prima della spedizione sulla Luna, venne messa in orbita l'Apollo 8, su un'orbita quasi circolare a 112 km di altezza rispetto alla superficie lunare. Si determini il periodo di rivoluzione della capsula sapendo che il raggio della luna è $r_L = 1738$ km e che la massa della luna è $m_L = 7,36 \cdot 10^{22}$ kg.

esempio di elaborato degli studenti ■

$r_1 = 412 \text{ km}$
 $r_2 = 1938 \text{ km}$
 $m_1 = 8,36 \times 10^{22} \text{ kg}$

$v_2 = 1350 \text{ km} \rightarrow 1,3 \times 10^3 \text{ km} \rightarrow 1,3 \times 10^5 \text{ m}$

$T = ?$
 $v = \frac{2\pi r}{T}$
 $a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$

$\frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{m_1 G}{r^2}$
 $\frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{8,36 \times 10^{22} \cdot 6,67 \times 10^{-11}}{r^2}$
 $4\pi^2 r^3 = m_1 G \cdot T^2$
 $T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{m_1 G}$
 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{m_1 G}}$

$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot 1938^3}{8,36 \times 10^{22} \cdot 6,67 \times 10^{-11}}}$
 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot 5,8 \times 10^{12}}{5,57 \times 10^{12}}}$
 $T = \sqrt{4,63 \times 10^4 \text{ s}^2}$
 $T = 2,15 \times 10^2 \text{ s}$

$1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$
 $1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$

$\frac{m_1 \cdot G \cdot r_1}{r^2}$
 $v_2 = \frac{v_1}{\sqrt{2}}$

$v_2 = ?$

$m_1 \cdot r_1 = \frac{m_2 \cdot r_2}{\sqrt{2}}$

$m_2 = \frac{m_1 \cdot r_1 \cdot \sqrt{2}}{r_2}$

$\frac{v_2}{r} = \frac{m_1 \cdot G}{r^2}$

$v_2 \cdot r^2 + m_1 \cdot G \cdot r$

$v^2 = \frac{m_1 \cdot G \cdot r}{r^2}$

$v = \sqrt{\frac{m_1 \cdot G \cdot r}{r^2}}$

$v = \sqrt{\frac{1,99 \times 10^{30} \cdot 6,67 \times 10^{-11}}{0,04 \times 10^7}}$

$v = 7,02 \times 10^5 \text{ m/s}$

risultati ottenuti

- Le verifiche svolte hanno evidenziato come la maggior parte degli studenti (oltre il 90%) sia in grado di riconoscere, descrivere e utilizzare, a livello qualitativo, le caratteristiche più significative dei modelli trattati.
 - Una percentuale minore, dell'ordine del 75% si è dimostrata capace di utilizzare correttamente le caratteristiche specifiche dei singoli modelli per effettuare previsioni corrette, in problemi "standard" in cui, a partire da una serie di dati forniti era richiesto di fornire un risultato.
 - Ancora più ridotta (circa il 45%) la percentuale di studenti che, posti di fronte a un problema di astronomia, sono stati in grado di individuare le variabili necessarie per poterlo affrontare e risolvere.
-

valutazione dell'efficacia del percorso didattico sperimentato

L'ampio spazio dedicato alla riflessione storico-epistemologica, anche attraverso la visione dei video e la lettura di brevi brani tratti dai testi originali degli scienziati che hanno dato un contributo fondamentale alla costruzione delle varie teorie, ha permesso:

- di "sradicare la perversa convinzione che le teorie fisiche abbiano un significato assoluto e inalterabile, comprensibile da una comunità di iniziati e quindi inaccessibile agli studenti"
 - di mostrare come sono via via cambiate le soluzioni al problema del moto dei corpi celesti, cogliendone analogie, errori, limiti
 - di suscitare negli studenti un interesse e una partecipazione migliore, per quantità e qualità, di quella ottenuta con una presentazione in linea con quella utilizzata nella gran parte dei libri di testo
-