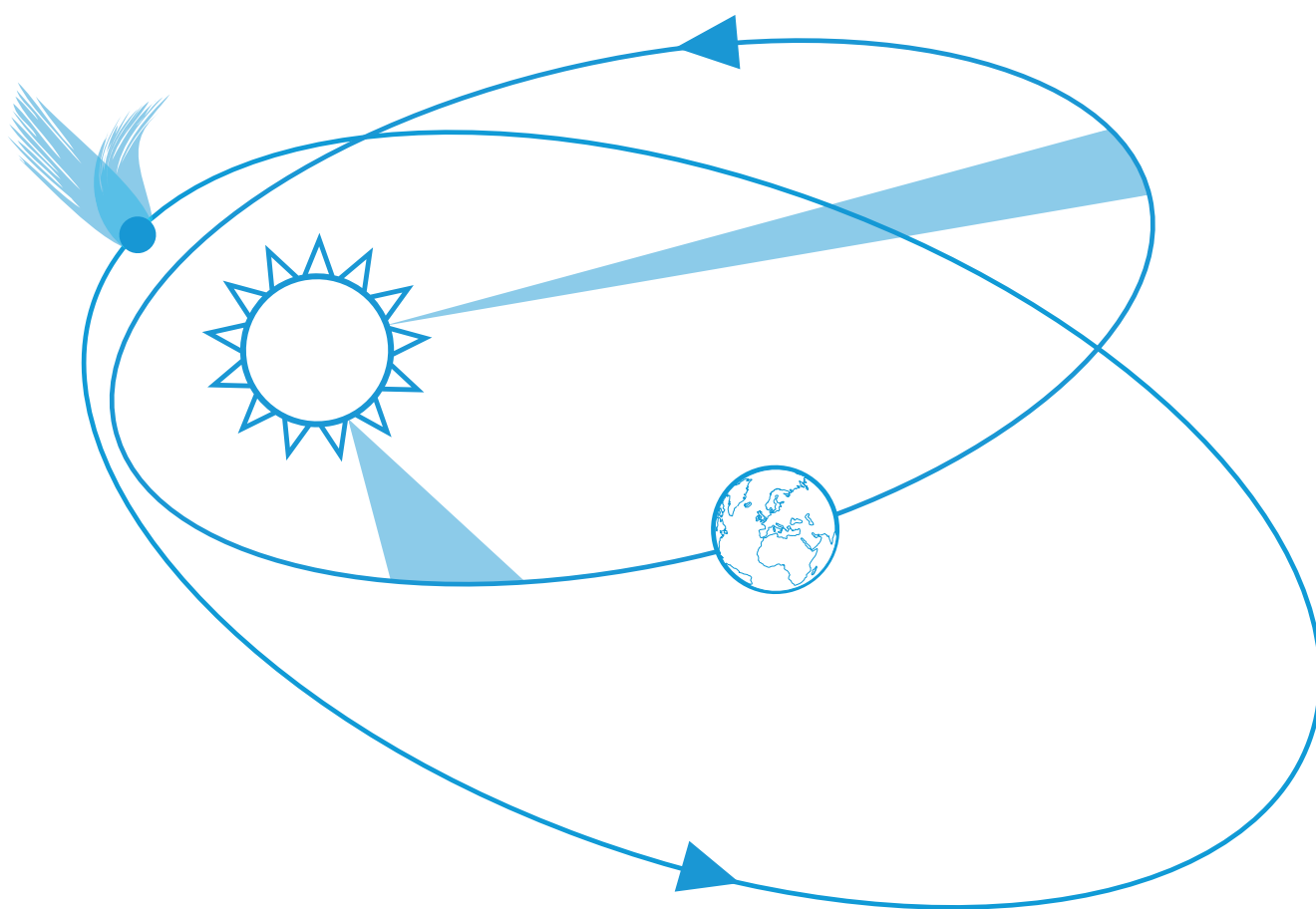


# spazio e insegnamento

## → ELLISSI MERABIGLIOSE

Velocità e tempi dei corpi orbitanti



## → INTRODUZIONE

Per comprendere le orbite di pianeti, comete e altri corpi celesti, è necessario esaminare i principi in base ai quali la gravità e la velocità di un corpo interagiscono determinandone l'orbita. È un errore comune tra gli studenti quello di credere che le orbite planetarie siano circolari. Quest'attività pratica assegna una collocazione spaziale ai grafici velocità-tempo. Mostra in che modo la velocità di oggetti che descrivono orbite ellittiche cambia in relazione alla loro posizione rispetto al Sole. Come approfondimento viene proposta un'attività di riflessione sulla geometria delle ellissi e sulla loro relazione con i parametri fisici nel sistema solare.

In breve	pag. 3
Quadro di riferimento	pag. 4
Attività: tavola ellittica	pag. 12
Discussione	pag. 14
Discussione di approfondimento	pag. 16
Conclusioni	pag. 18
Scheda studenti	pag. 19
Lo spazio e l'ESA	pag. 21
Rosetta	pag. 21
La Stazione Spaziale Internazionale	pag. 23
Appendice	pag. 26
Istruzioni per la tavola ellittica	pag. 26
Glossario	pag. 33
Collegamenti	pag. 34

## → ELLISSI MERABIGLIOSE

### Velocità e tempi dei corpi orbitanti

#### IN BREVE

Fascia d'età: 14-16 anni

Tipologia: attività per gli studenti

Complessità: media

Tempo per la preparazione del docente: 1 ora

Durata della lezione: 15 minuti - 1 ora

Costo: basso (meno di 10 euro)

Luogo: interno (aula)

Previsto l'uso di: biglie, righie, nessun materiale pericoloso

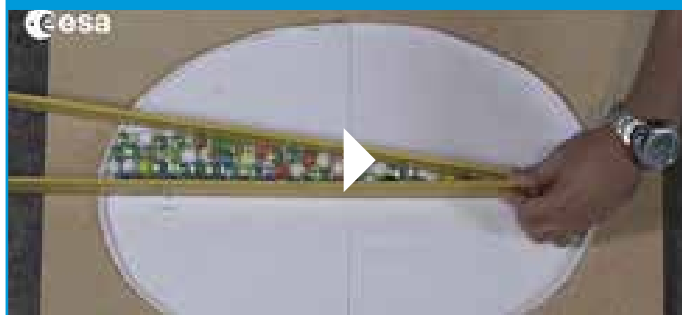
#### Prerequisiti degli studenti

1. Concetti di energia cinetica ed energia potenziale gravitazionale.
2. Concetto di vettore velocità.

#### Obiettivi di apprendimento

1. Gli studenti devono essere in grado di tracciare un grafico velocità-tempo e di collegarlo ai concetti di accelerazione e distanza per comprendere i principi della meccanica orbitale.
2. Devono altresì comprendere come varia la forza di gravità in relazione alla distanza da un pianeta o da una stella.
3. Infine dovranno mettere questo risultato in relazione all'accelerazione e decelerazione di un pianeta o di un satellite in un'orbita ellittica.

#### Altro materiale utile



↑ Video 'Marble-ous Ellipses' (versione inglese). Consultare la sezione Collegamenti.

#### Collegamenti interdisciplinari

##### Fisica

- Orbite
- Satelliti
- Comete
- Pianeti
- Stelle
- Gravitazione (variazione della forza di gravità in base alla distanza)
- Leggi di Keplero

##### Matematica

- Grafici velocità-tempo
- Distanza uguale all'area sottesa dal grafico
- Pendenza in un punto uguale all'accelerazione
- Tracciare grafici e interpretarli
- Geometria: ellissi, eccentricità, assi maggiori e minori

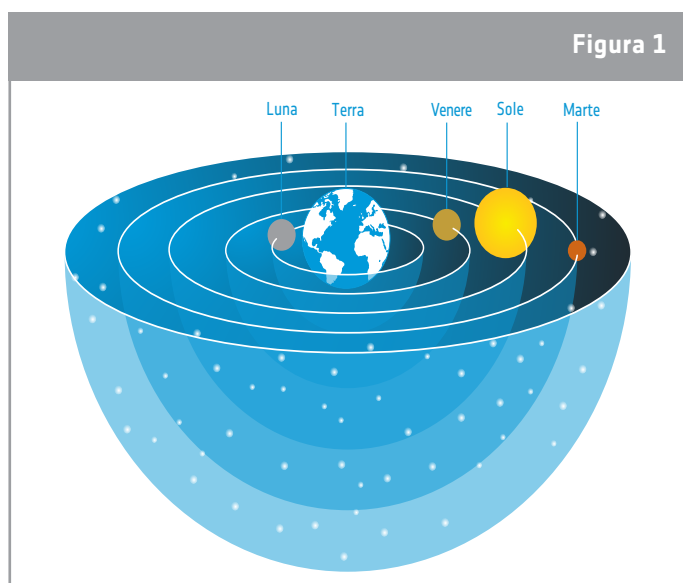
#### Linee generali

In quest'attività, gli studenti useranno una tavola ellittica per ottenere i valori di velocità e distanza di un oggetto che descrive un'orbita ellittica. I risultati verranno poi riportati su un grafico velocità-tempo per comprendere in che modo la gravità influenza (o modifica) la velocità di un pianeta o di un satellite in un'orbita ellittica.

## → INFORMAZIONI GENERALI

### Breve storia del geocentrismo

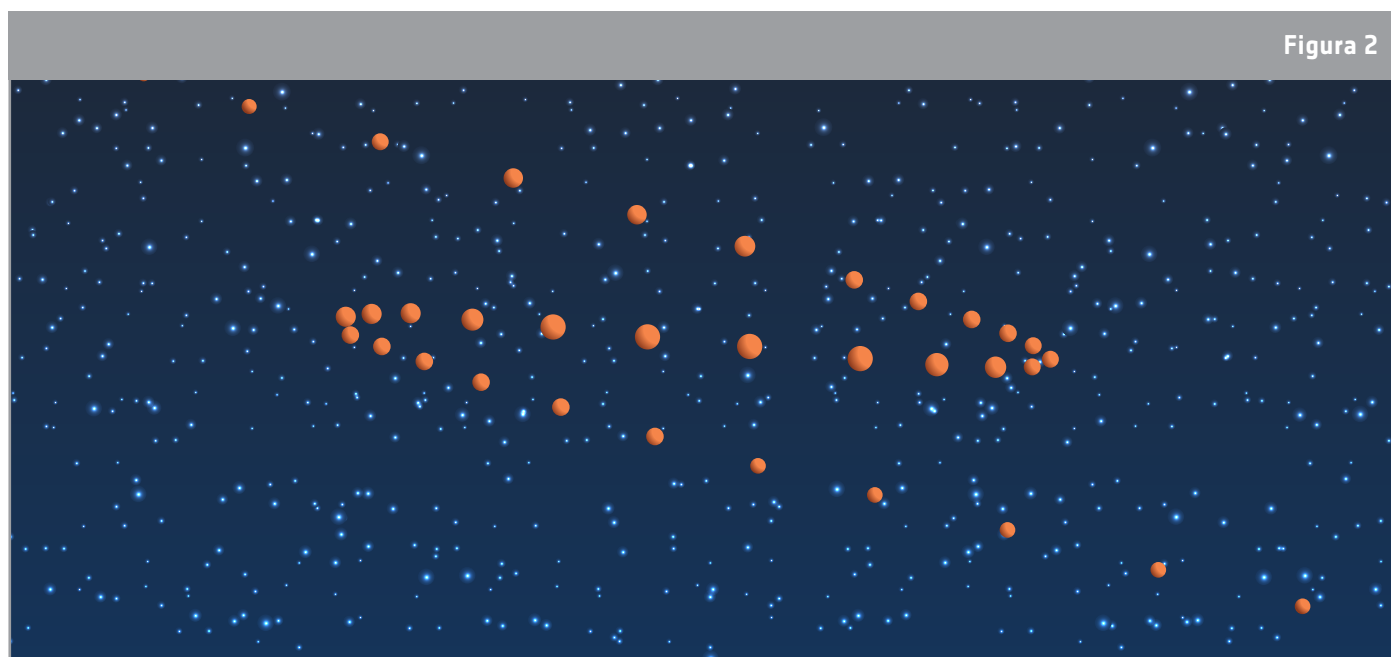
Per migliaia di anni, filosofi e astronomi hanno discusso sulla natura della struttura del sistema solare e dello spazio. Ne sono emersi due modelli contrapposti: uno geocentrico (con la Terra al centro) e uno eliocentrico (con il Sole al centro).



Intorno al 200 A.C., tra i sostenitori del modello geocentrico c'era l'antico astronomo greco Aristotele (Figura 1). Sosteneva che i pianeti (e il Sole) si muovessero ad una velocità uniforme descrivendo percorsi circolari attorno alla Terra, che occupava il centro dell'Universo.

Questo modello presentava tuttavia dei problemi. Alle volte, osservando Marte, sembrava che il pianeta si muovesse nel cielo in modo strano (Figura 2). Anziché continuare il suo percorso, Marte tornava indietro per un po' prima di proseguire. Quest'effetto non poteva essere spiegato ricorrendo ad un semplice modello geocentrico.

↑ Modello geocentrico: la Terra si trova al centro dell'Universo



↑ Lo spostamento apparente di Marte nel cielo durante il moto retrogrado. Per vedere un'animazione del moto di Marte nel cielo notturno, consultare la sezione Collegamenti.

Circa 400 anni dopo, Tolomeo propose la sua soluzione al problema. La Terra occupava ancora il centro dell'Universo ma i pianeti si muovevano lungo il loro principale percorso orbitale descrivendo orbite secondarie, dette epicicli (Figura 3). Ciò spiegava e prevedeva parzialmente il **moto retrogrado\*** osservato.

Tuttavia, affinché questo sistema funzionasse, Tolomeo aveva dovuto prevedere una serie di complessi epicicli (Figura 4). Si trattava di una correzione davvero troppo significativa per poter continuare a confidare nel modello geocentrico.

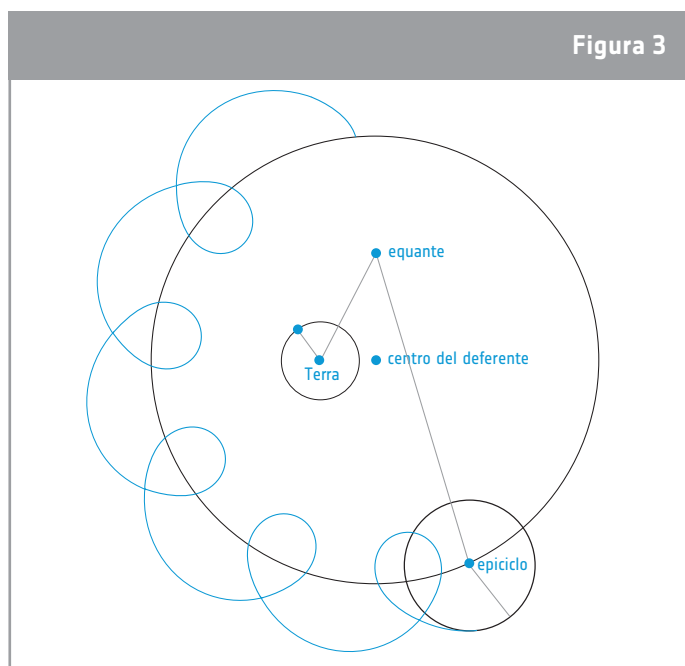


Figura 3

↑ Gli epicicli possono essere usati per spiegare il moto retrogrado. Per vedere delle animazioni sugli epicicli, consultare la sezione Collegamenti.

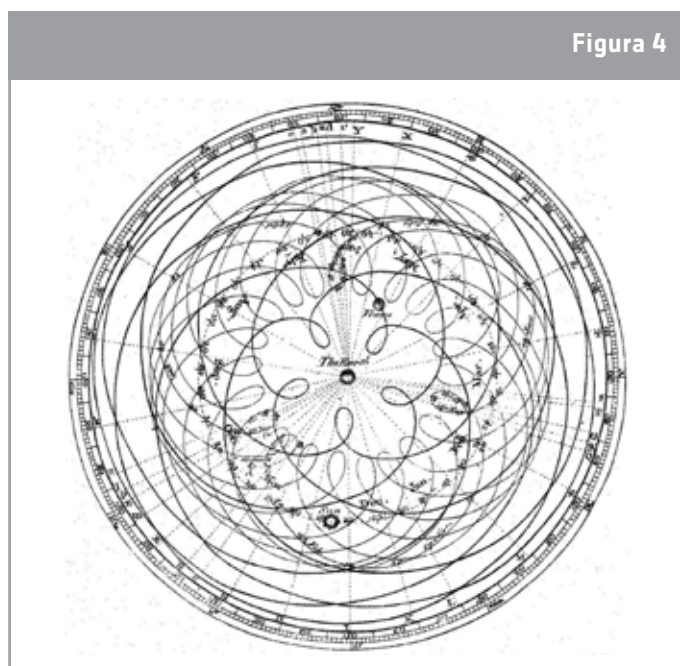


Figura 4

↑ La soluzione proposta da Tolomeo era incredibilmente complessa.

## Breve storia dell'eliocentrismo

Nel 1543, Niccolò Copernico pubblicò 'De revolutionibus orbium coelestium' (Sulle rivoluzioni dei corpi celesti) in cui sosteneva che l'Universo si basasse in realtà su un modello eliocentrico (Figura 5). Fu l'inizio della rivoluzione copernicana. I più grandi pensatori iniziarono ad adottare questo modello rivoluzionario.

Tuttavia, restava un problema. Si riteneva ancora che tutti i corpi orbitanti descrivessero percorsi circolari, pertanto neanche il modello eliocentrico era in grado di spiegare tutte le osservazioni dei movimenti planetari. In particolare, l'orbita di Marte continuava a non rientrare nei limiti imposti da un percorso circolare.

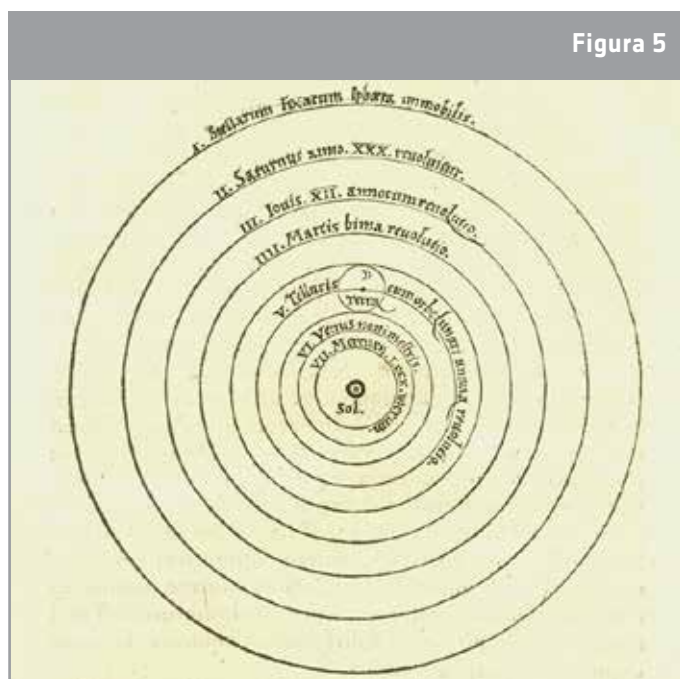


Figura 5

↑ Modello eliocentrico del sistema solare proposto da Copernico.

\*Moto retrogrado\* di un pianeta: Moto apparente di un pianeta nel cielo notturno in direzione opposta a quella normalmente osservata (moto progrado).

## La rivoluzione di Keplero sulla natura delle orbite

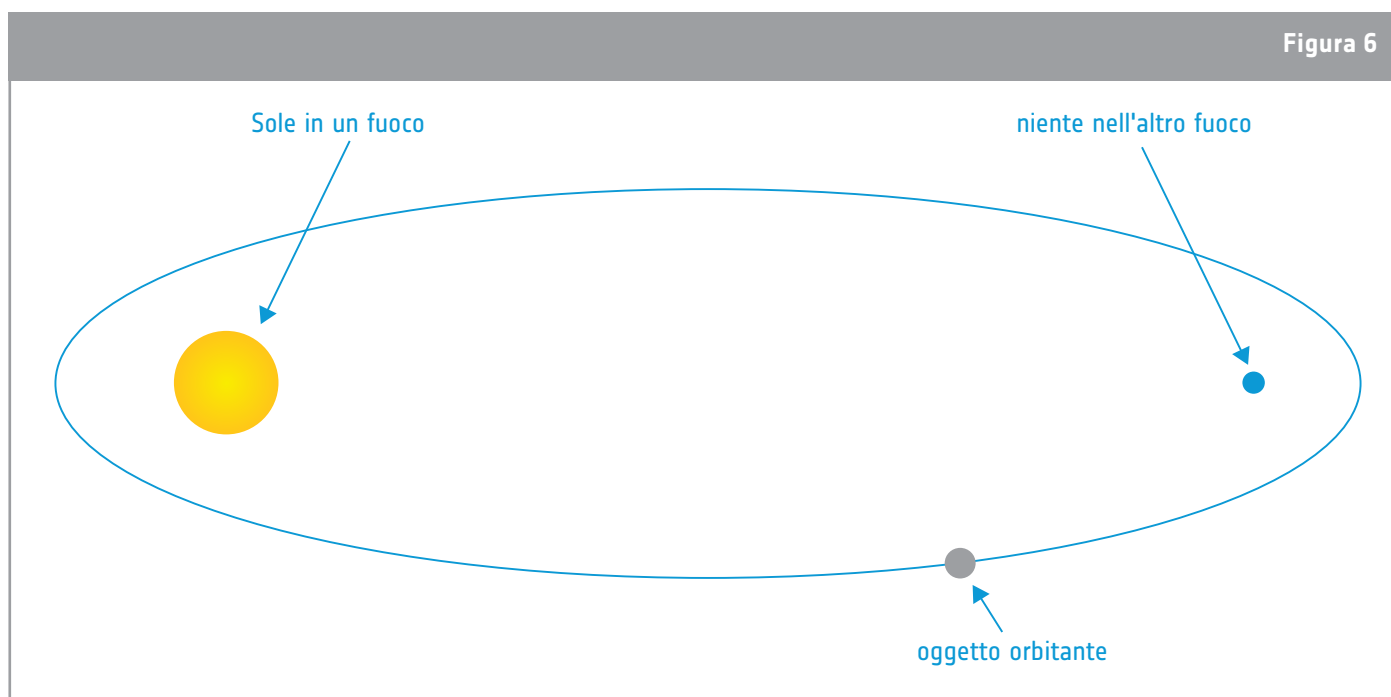
Agli inizi del 1600, l'astronomo Giovanni Keplero rivoluzionò la visione del sistema solare e della natura delle orbite. Dopo una meticolosa analisi dei dati sull'osservazione del moto del pianeta Marte nel cielo notturno, Keplero concluse che le orbite dei pianeti dovessero essere ellittiche e non circolari. Eseguendo ulteriori studi e calcoli, fu in grado di ricavare tre leggi applicabili a tutti gli oggetti che descrivevano un'orbita.

### Le leggi di Keplero sul moto dei pianeti

**Prima legge di Keplero:** Un pianeta ruota attorno al Sole descrivendo un'orbita ellittica di cui il Sole occupa uno dei fuochi (Figura 6).

**Seconda legge di Keplero:** Una linea che congiunge un pianeta al Sole spazza aree uguali in intervalli di tempo uguali.

**Terza legge di Keplero:** Il quadrato del periodo orbitale\* di un pianeta è direttamente proporzionale al cubo dell'asse semi-maggiore dell'orbita.



↑ Keplero fece la rivoluzionaria scoperta che le orbite dei pianeti sono ellittiche.

Per maggiori informazioni, vedere le animazioni sulla prima, seconda e terza legge di Keplero e il video formativo dell'ESA ATV-2 'Johannes Kepler' nella sezione Collegamenti.

Questa guida illustrerà più avanti cosa hanno significato queste leggi per le orbite planetarie e l'esplorazione del sistema solare.

\* **Periodo orbitale:** tempo impiegato a completare un'orbita.

## Proprietà delle orbite ellittiche

Per analizzare efficacemente le proprietà di un oggetto in orbita, e applicare le leggi di Keplero in modo significativo, è opportuno definire alcuni termini chiave:

### Assi

Un'ellisse è una curva piana che circonda due fuochi. La somma della distanza di un qualunque punto dell'ellissi dai due fuochi è sempre uguale. Ciò può essere dimostrato con un pezzo di spago (vedere la Figura A1 nella sezione Attività).

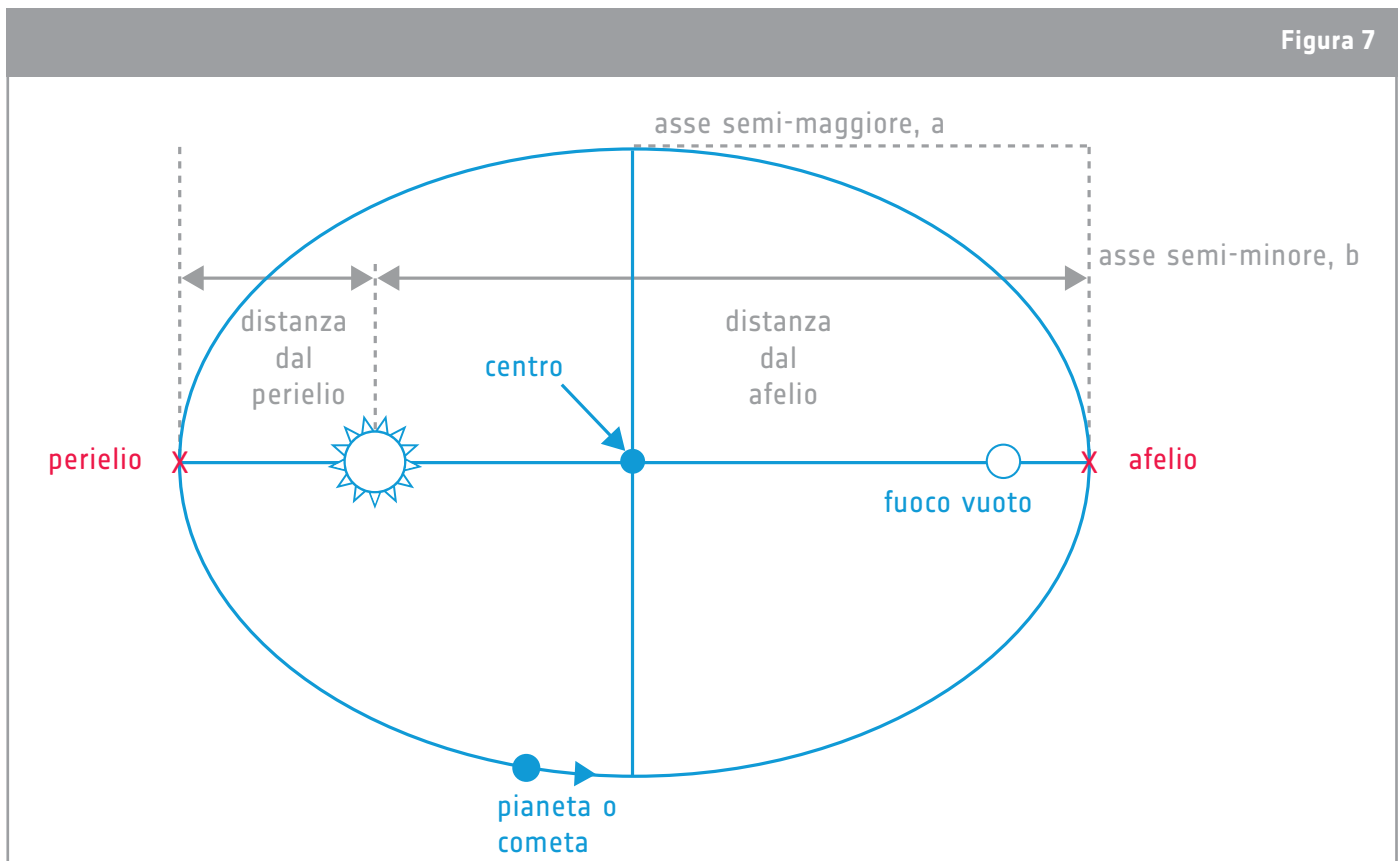


Figura 7

↑ Proprietà di un'orbita ellittica, compresi gli assi (semi-) maggiori e (semi-) minori e ubicazione di perielio e afelio.

Per comprendere le orbite occorre definire due proprietà: l'asse maggiore e l'asse minore (Figura 7). L'asse maggiore corrisponde al diametro più lungo di un'ellisse, che passa per i due fuochi e per il centro. L'asse minore è la linea che divide in due parti uguali l'asse maggiore. Entrambe queste linee, e le corrispondenti posizioni di un oggetto orbitale sull'ellisse, giocano un ruolo molto importante nell'analisi della velocità e dell'energia di un oggetto orbitale.

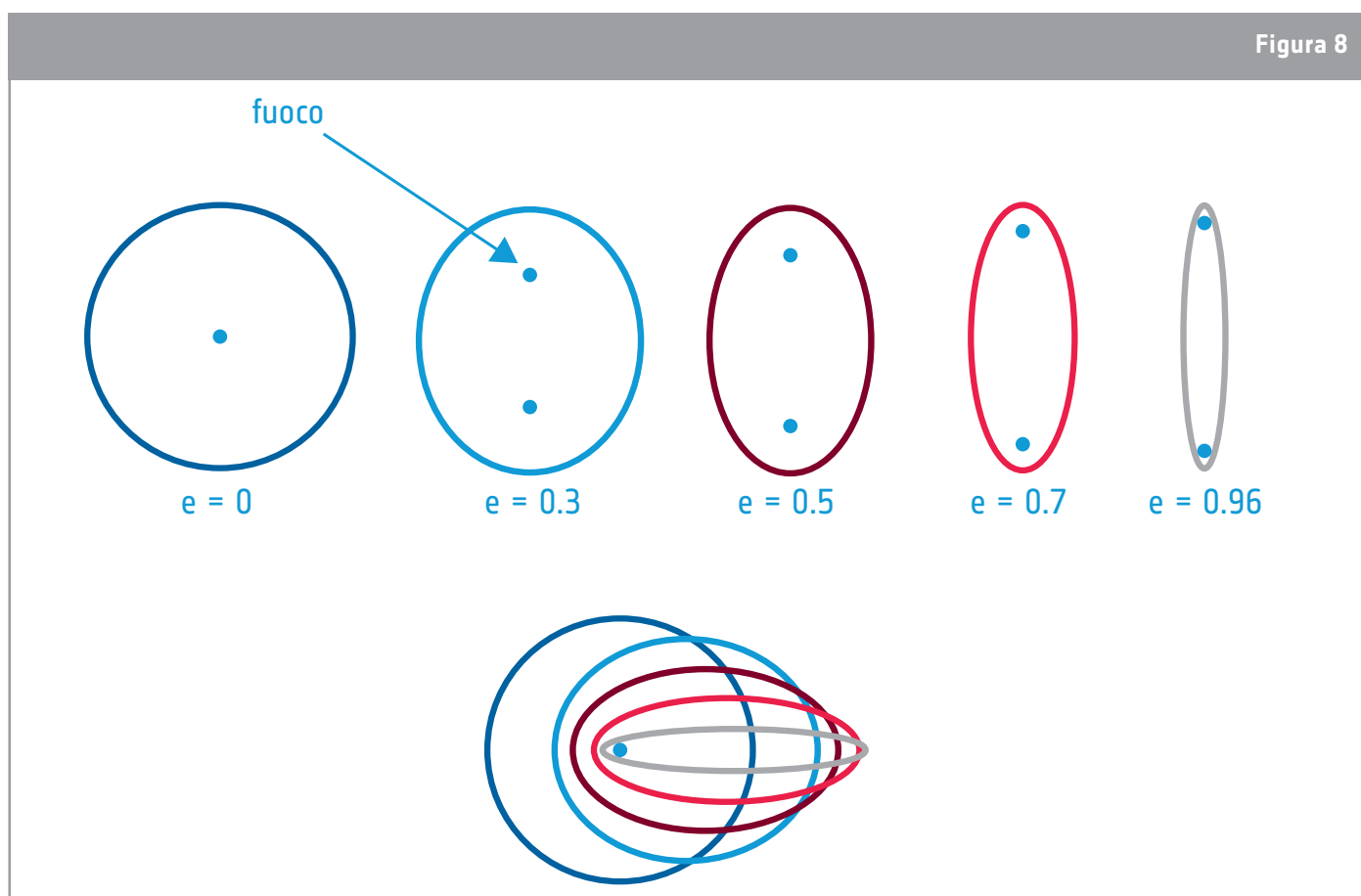
Altri elementi utili per il calcolo delle proprietà di un'orbita sono l'asse semi-maggiore e l'asse semi-minore (Figura 7). L'asse semi-maggiore corrisponde a metà della lunghezza dell'asse maggiore e l'asse semi-minore a metà della lunghezza dell'asse minore. In un cerchio questi assi coinciderebbero e corrisponderebbero al raggio.

## Eccentricità

L'eccentricità è una misura del discostamento di un'ellisse dalla perfetta circolarità (Figura 8). Nella Figura 8 l'eccentricità viene indicata con 'e'.

Un cerchio è un'ellisse speciale in cui i due fuochi si sovrappongono creandone uno unico. I cerchi perfetti hanno un'eccentricità pari a 0.

Maggiore è l'eccentricità di un'ellisse, maggiore è il valore di 'e'. L'intervallo di eccentricità di un'ellisse è:  $0 < e < 1$ . Una parabola ha un'eccentricità pari a 1. Se  $e > 1$ , la curva corrisponde ad un'iperbole.



↑ Eccentricità di diverse ellissi. Maggiore è il valore dell'eccentricità, più 'schiacciata' apparirà l'ellisse.

## Posizioni orbitali

Quando si calcola l'energia e la velocità di un oggetto orbitale, occorre valutare qual è il suo punto di massima energia cinetica (e, conseguentemente, di minima energia potenziale gravitazionale), e il suo punto di minima energia cinetica (e, conseguentemente, massima energia potenziale gravitazionale). Questo argomento è stato trattato più in dettaglio nella discussione di approfondimento e nella Figura A5.

Il punto in cui l'asse maggiore interseca il percorso orbitale quando ha raggiunto la massima vicinanza al Sole è noto come perielio (Figura 7). Il punto in cui l'asse maggiore interseca il percorso orbitale quando è alla massima distanza dal Sole è noto come afelio.



## Comete

Un gruppo di oggetti in grado di descrivere orbite molto ellittiche (molto eccentriche) attorno al Sole è rappresentato dalle comete (Figura 9). Questi piccoli mondi di ghiaccio hanno origine principalmente in due regioni del sistema solare. Le comete a breve periodo (quelle con un periodo orbitale\* inferiore a 200 anni) hanno origine nella Fascia di Kuiper Belt, una raccolta discoidale di residui di ghiaccio scampati alla formazione del sistema solare e ubicata oltre l'orbita di Nettuno.

Le comete a lungo periodo (quelle con un periodo orbitale fino a decine di migliaia di anni), invece, sembrano avere origine da un alone sferico di materiale ghiacciato ubicato in una regione posta ai confini del nostro sistema solare e noto come Nube di Oort. Posta ad una distanza di molte migliaia di unità astronomiche (UA)\*, la Nube di Oort è troppo distante per essere raffigurata direttamente. Occorre piuttosto tracciare l'orbita di una cometa a lungo periodo tornando indietro per determinarne l'origine (Figura 10).



↑ Foto della cometa Hale-Bopp scattata in Croazia.

Le comete compiono, generalmente, delle orbite stabili attorno al Sole. Tuttavia, gli oggetti della Fascia di Kuiper possono essere influenzati dai campi gravitazionali dei pianeti giganti (Giove, Saturno, Urano e Nettuno), mentre gli oggetti della Nube di Oort da perturbazioni gravitazionali\* causate dal moto di altre stelle. Queste perturbazioni possono occasionalmente modificare le orbite di questi piccoli mondi freddi e deviarli verso il sistema solare interno.

Quando si avvicinano al Sole, questi oggetti iniziano a riscaldarsi e il ghiaccio contenuto al loro interno sublima\*. A questo punto la struttura originaria viene definita 'nucleo'. Quando il nucleo si riscalda, rilascia polveri e gas che formano una sottile ma estesa 'atmosfera' nota come chioma (Figura 11).

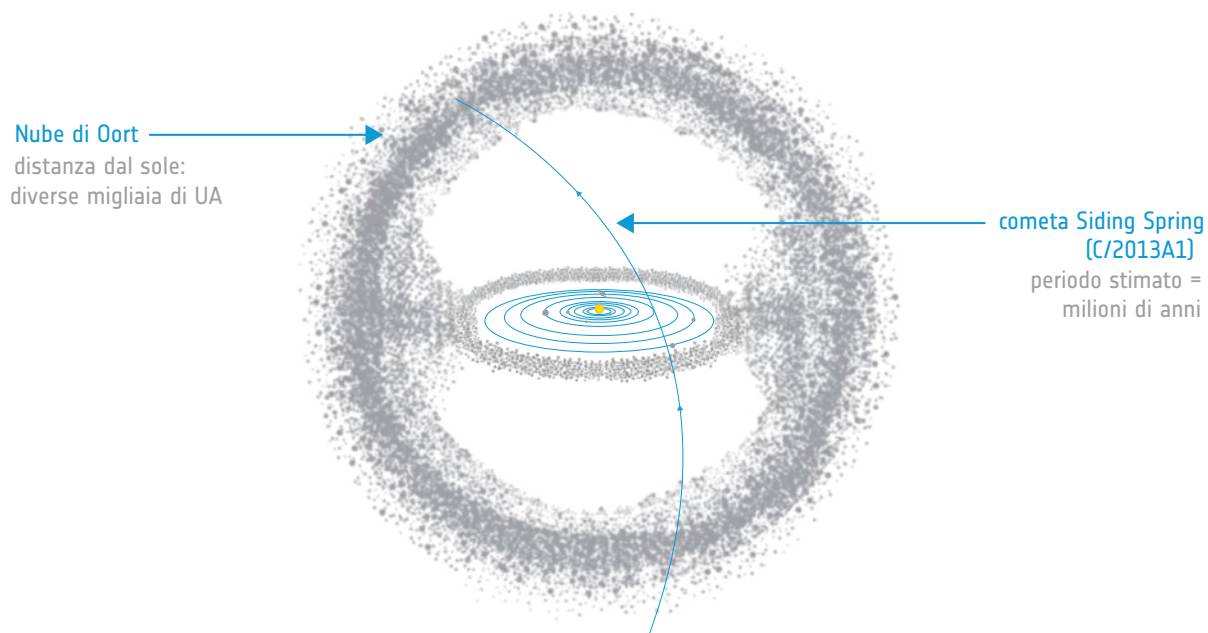
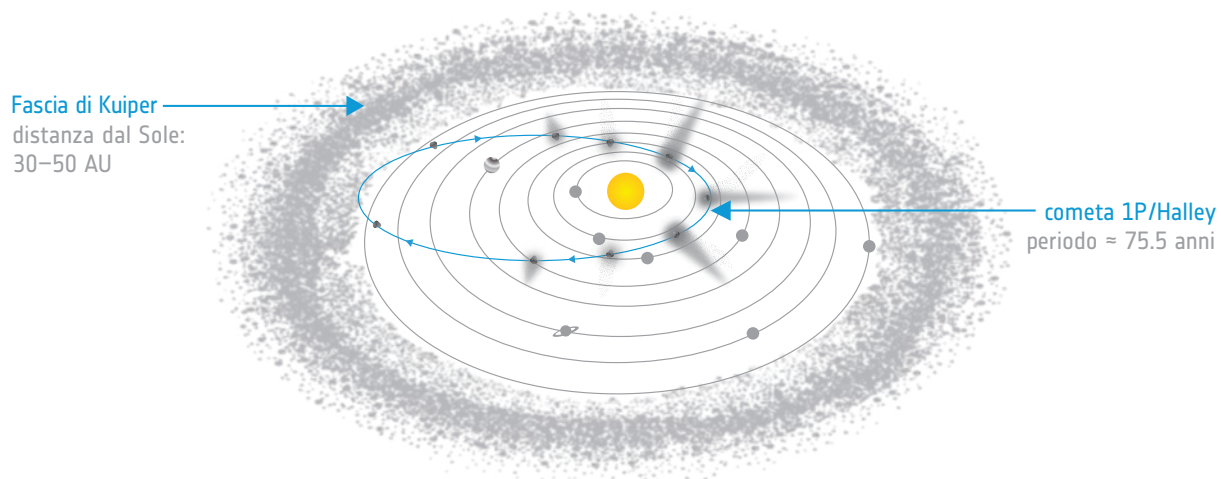
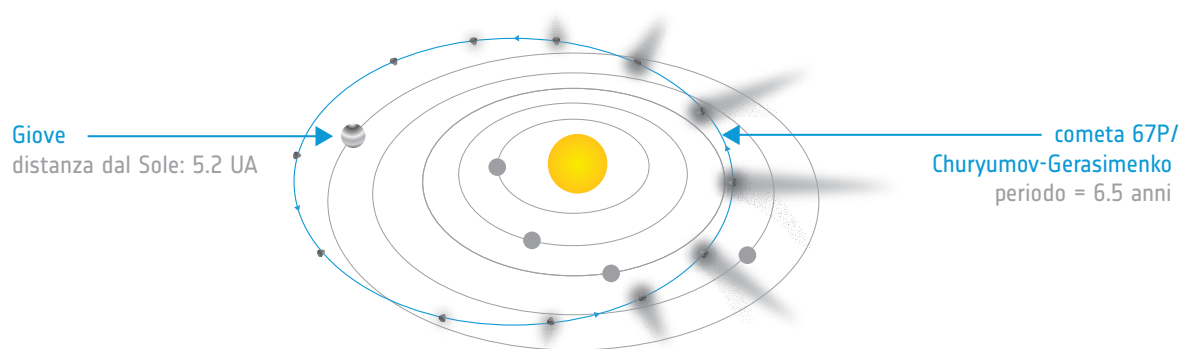
Man mano che la cometa si avvicina al Sole, l'interazione della chioma con i crescenti livelli di radiazione solare e il vento solare\* producono quelle spettacolari 'code' a cui siamo soliti associare l'immagine delle comete. Molto raramente le code sono talmente luminose da essere avvistate da un osservatore terrestre alla luce del giorno.

\*Unità astronomica (UA): 1 UA è la distanza media tra la Terra e il Sole, o il raggio dell'orbita terrestre, pari a circa 150 milioni di chilometri.

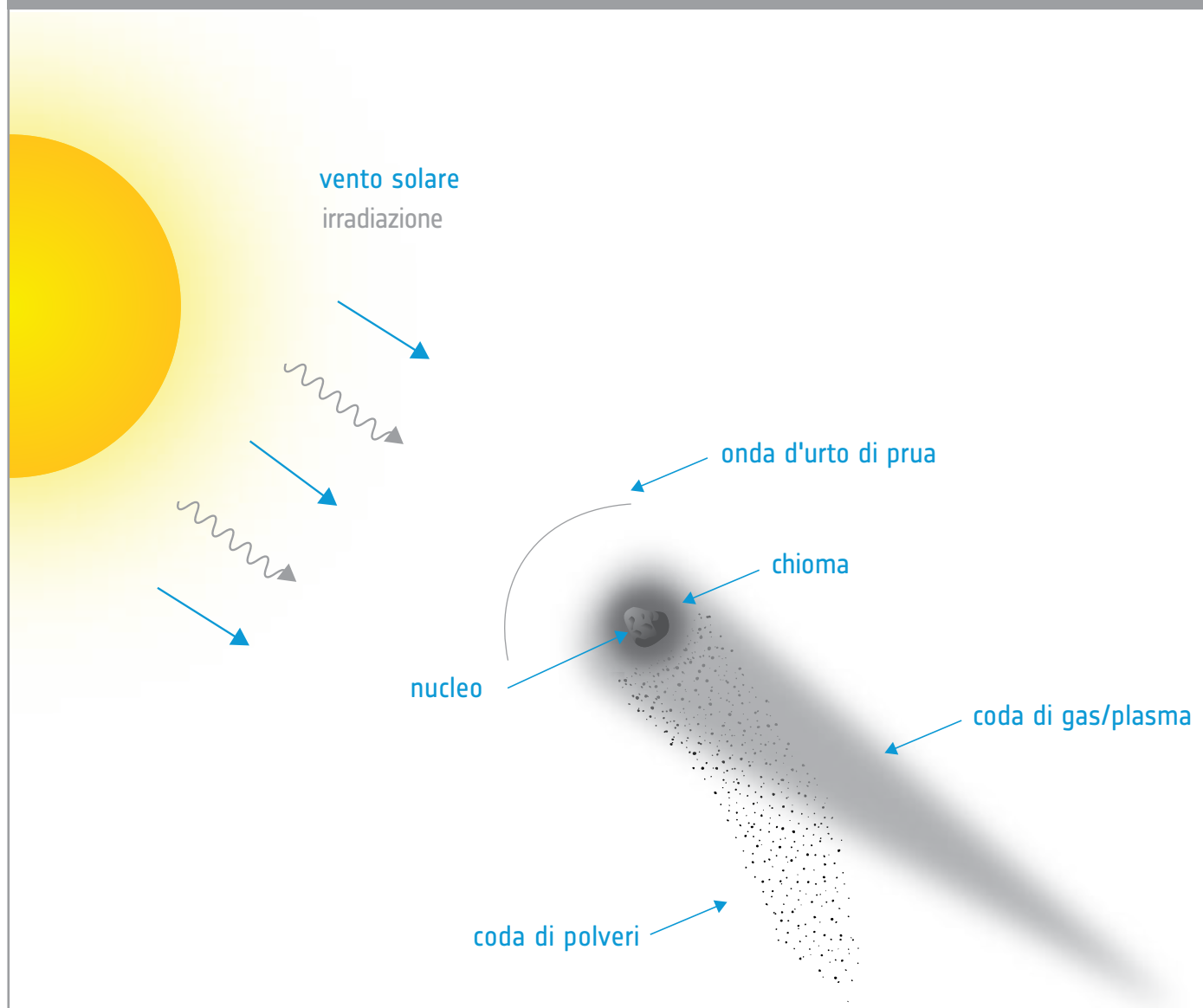
\*Perturbazioni gravitazionali: cambiamenti dell'orbita di un corpo celeste (p. es. un pianeta o una cometa) come conseguenza delle interazioni con i campi gravitazionali di altri corpi celesti (p. es. pianeti giganti, altre stelle).

\*Vento solare: un flusso di particelle ad alta carica (plasma) emesso dall'atmosfera superiore del sole in tutte le direzioni. Principalmente composto da elettroni e protoni.

\*Sublimare (sublimazione): quando il riscaldamento fa sì che una sostanza passi direttamente dallo stato solido a quello gassoso, senza passare per lo stato liquido. Quando il gas si raffredda di nuovo, forma solitamente un deposito solido.



↑ Orbite delle comete nel sistema solare.



↑ Anatomia di una cometa.

Per maggiori dettagli sulle orbite delle comete, consultare la sezione Discussione.

Per maggiori informazioni su struttura, composizione e significato delle comete, fare riferimento alle risorse didattiche 'ESA. Spazio e insegnamento: ricetta per una cometa | Po6' (vedere la sezione Collegamenti).

**\*Onda d'urto di prua (cometa):** superficie di interazione tra gli ioni nella chioma di una cometa e il vento solare. Si forma perché la velocità orbitale relativa della cometa e il vento solare sono supersonici. Si forma nella parte anteriore della cometa nella direzione del flusso del vento solare. Nell'onda d'urto, elevate concentrazioni di ioni cometari si accumulano caricando di plasma il campo magnetico solare. Ne risulta che le linee del campo si curvano attorno alla cometa, convogliando gli ioni cometari e dando così origine alla coda di gas/plasma/ioni.

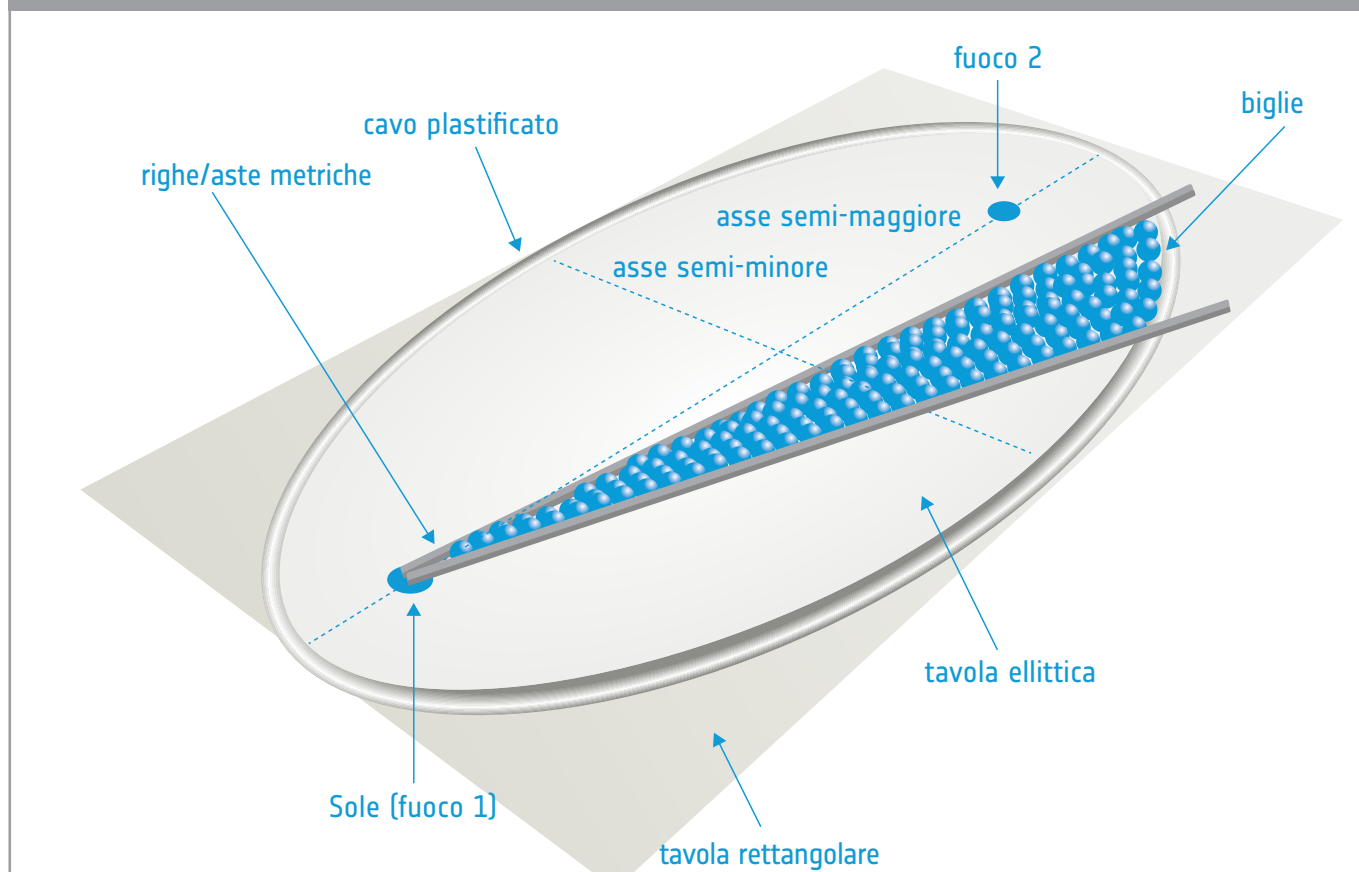
## Misurazione di velocità e distanza su una tavola ellittica

In quest'attività, gli studenti useranno una tavola ellittica per ottenere i valori di velocità e distanza di un oggetto che descrive un'orbita ellittica. I risultati verranno poi riportati su un grafico velocità-tempo per comprendere in che modo la gravità influenza (o modifica) la velocità di un pianeta o di un satellite in un'orbita ellittica. Le istruzioni e le schede degli studenti sono fornite successivamente all'interno di questo documento.

### Materiale

- Tavola ellittica, realizzata in precedenza (per le istruzioni vedere l'Appendice): Istruzioni per la realizzazione della tavola ellittica
- Circa 75 biglie (procurarne alcune più piccole per riempire l'angolo acuto dello spicchio)
- 2 righe o aste metriche
- 50 cm di spago
- Pennarello delebile

Figura A1



↑ Preparazione dell'esperimento. Per istruzioni su come preparare la tavola ellittica, consultare l'Appendice: Istruzioni per la realizzazione della tavola ellittica.

### Salute e sicurezza

L'attività proposta non presenta particolari rischi. Pertanto non ci sono specifiche precauzioni da seguire.

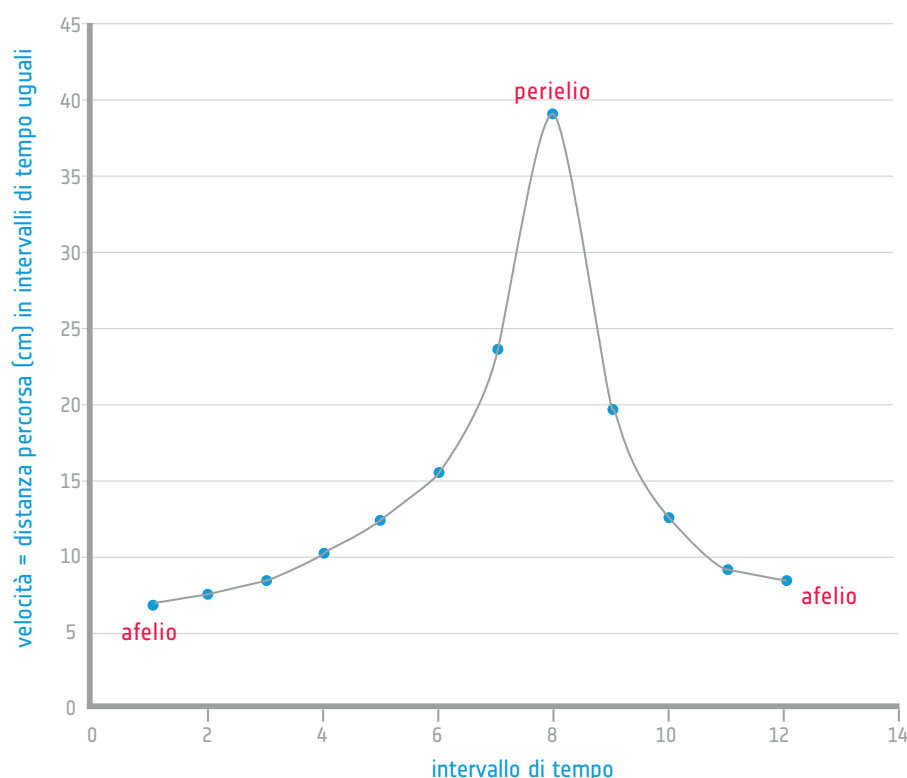
## Istruzioni

Nota: la tavola ellittica rappresenta il percorso di una cometa in orbita attorno al Sole. Fare riferimento al video di accompagnamento: ESA. Spazio e insegnamento: 'Marble-ous Ellipses' | VPO2 (versione inglese).

1. Usando un pennarello delebile, segnare un punto sull'ellisse più lontano possibile dal Sole (fuoco 1): all'afelio. Posizionare una riga o asta metrica in modo che passi per questo punto e arrivi al Sole (fuoco 1). La riga ruoterà avendo come perno il Sole (fuoco 1) per tutta la durata dell'esperimento. Fare riferimento alla Figura A1.
2. Posizionare una seconda riga/asta su un lato e con un'estremità in corrispondenza del Sole (fuoco 1). Anche questa riga ruoterà avendo come perno il Sole (fuoco 1) per tutta la durata dell'esperimento. Posizionare le biglie nello spazio compreso tra le due righe. Spostare la seconda riga/asta finché le biglie non siano perfettamente distribuite nello spazio disponibile. Fare un secondo segno sull'ellisse, sul lato interno, dove passa la seconda riga. Si noti che il numero di biglie utilizzate determinerà il numero di misurazioni da effettuare: minore è il numero delle biglie, maggiore sarà il numero dei punti dei dati.
3. Spostare entrambe le righe lungo l'ellisse finché la prima non si trovi nella posizione originaria della seconda (la seconda riga si è spostata più avanti lungo l'ellisse). Spostare la seconda riga finché le biglie non avranno occupato perfettamente lo spazio disponibile tra le due righe, come fatto nel secondo passaggio (Figura A1). Fare un altro segno sull'ellisse, sul lato interno, dove passa la seconda riga.
4. Ripetere il passaggio 3 fino a coprire l'intera ellisse.
5. Usare lo spago per misurare le distanze tra i segni lungo il bordo esterno dell'ellisse. Annotare questi valori in una tabella insieme agli intervalli di tempo (numero dell'area misurata: la prima area corrisponde all'intervallo 1, la seconda all'intervallo 2, ecc.). Le distanze misurate rappresentano le velocità poiché corrispondono alla distanza percorsa in intervalli di tempo equivalenti.
6. Tracciare un grafico della velocità (le distanze misurate) in relazione al tempo (numero dell'intervallo) per ciascuna sezione. La Figura A2 mostra una tabella e un grafico esemplificativi. La pendenza della curva/linea nel grafico dipenderà dall'eccentricità dell'ellisse: più essa è elevata più ripida sarà la pendenza, al contrario meno eccentrica sarà l'ellisse (più circolare) meno definito sarà il picco.
7. Si noti che, più è ellittico il modello realizzato, più ripida sarà la pendenza del grafico velocità-tempo.

Figure A2

numero area	distanza
intervallo di tempo	velocità
1	6,7
2	7,5
3	8,4
4	10,1
5	12,2
6	15,5
7	23,6
8	39,2
9	19,8
10	12,5
11	9,2
12	8,4



↑ Tabella e grafico esemplificativi.

## Discussione

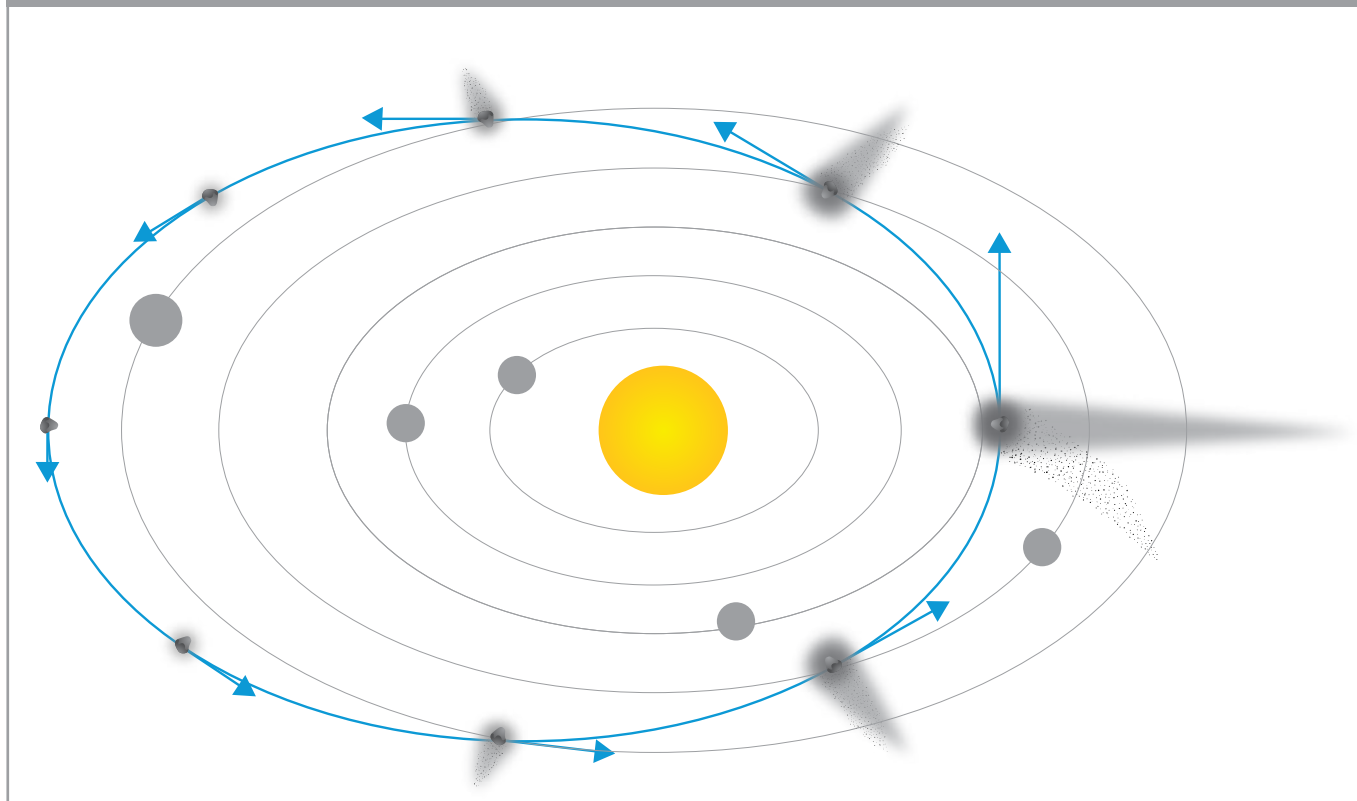
### Osservazioni e spiegazioni sulle comete

Una cometa ha una forza di attrazione determinata dalla gravità che attira la sua massa verso il Sole.

Il percorso seguito da una cometa dipende da due fattori: velocità e direzione iniziale. Affinché un oggetto orbiti attorno ad un altro, è necessaria la presenza di una forza centripeta (una forza che agisce in direzione del fuoco, ossia il Sole), che cambi costantemente il percorso del moto, facendo accelerare o decelerare il corpo orbitante durante il processo (Figura A3).

In un'orbita stabile, l'attrazione gravitazionale del Sole determina un'accelerazione della cometa, e dunque un aumento della velocità man mano che essa si avvicina al perielio. Una volta superato il perielio, l'attrazione gravitazionale del Sole si oppone al moto della cometa, causandone un rallentamento e perdita di velocità.

Figure A3



↑ Come cambia il vettore velocità (frecce blu) di una cometa in orbita attorno al Sole in base alla posizione orbitale. La variazione è dovuta all'accelerazione centripeta determinata dall'attrazione gravitazionale del Sole. Rappresentati anche i cambiamenti della coda della cometa.

Se una cometa avesse un'orbita circolare, l'accelerazione centripeta sarebbe sempre perpendicolare (a  $90^\circ$ ) rispetto alla velocità della cometa. In un'orbita ellittica, l'angolo tra l'accelerazione centripeta e la velocità varia. È questa variazione dell'accelerazione centripeta a determinare il cambiamento di velocità di un corpo in un'orbita ellittica.

### Cosa indica la pendenza di una linea (Figura A2) in un punto?

Dal momento che la pendenza in un grafico velocità-tempo indica il tasso di cambiamento della velocità, la pendenza della linea è una misura dell'accelerazione della cometa in quel punto. La massima accelerazione (pendenza) si verifica quando la cometa si avvicina al perielio, il punto in cui la cometa percorre l'orbita ad una maggiore velocità. Superato il perielio, la cometa subirà la massima decelerazione e continuerà a decelerare fino al raggiungimento dell'afelio, il punto dell'orbita in cui viaggia alla minima velocità.

### Cosa indica l'area sottesa dal grafico?

L'area sottesa dal grafico mostra la distanza percorsa dalla cometa. Si può facilmente vedere che, quando la cometa si avvicina al perielio, la distanza percorsa dalla cometa per sezione temporale aumenta parallelamente all'incremento della velocità. Allo stesso modo, quando si avvicina all'afelio, la cometa viaggia ad una velocità inferiore e percorre una distanza minore per unità di tempo.

## Discussione di approfondimento

L'attività può essere approfondita con una discussione sui parametri che influenzano l'orbita, come per esempio la velocità originaria e la direzione del corpo orbitante, e le masse del corpo orbitante e della stella centrale.

Per maggiori informazioni, consultare il video formativo dell'ATV-4 'Albert Einstein' (fare riferimento alla sezione Collegamenti). Gli studenti possono anche usare la terza legge di Keplero per analizzare l'effetto dell'asse semi-maggiore ( $r$ ) sul periodo orbitale della cometa.

### Terza legge di Keplero

$$T^2 = \left( \frac{4\pi^2}{GM} \right) a^3$$

$T$  = periodo temporale di una rivoluzione  
 $a$  = raggio medio dell'orbita  
 $G$  = costante gravitazionale universale  
 $M$  = massa del Sole

Più lungo è l'asse semi-maggiore, più lungo sarà il periodo orbitale. La stessa cosa vale per i pianeti nel sistema solare: maggiore è la loro distanza dal Sole, più lungo sarà il loro periodo orbitale.

## Considerazioni su energia e oggetti vicini alla Terra

Una cometa che percorre la sua orbita ellittica partecipa ad un ciclo continuo di trasformazione di energia potenziale gravitazionale in energia cinetica (quando si avvicina al Sole), e viceversa (quando si allontana dal sole). La Figura A5 mostra la variazione dell'energia cinetica e dell'energia potenziale gravitazionale di un corpo orbitante lungo il percorso orbitale.

Dal momento che l'energia totale della cometa deve restare costante, si deduce che:

$$\text{Energia cinetica (EK) + Energia potenziale gravitazionale (EP) = costante}$$

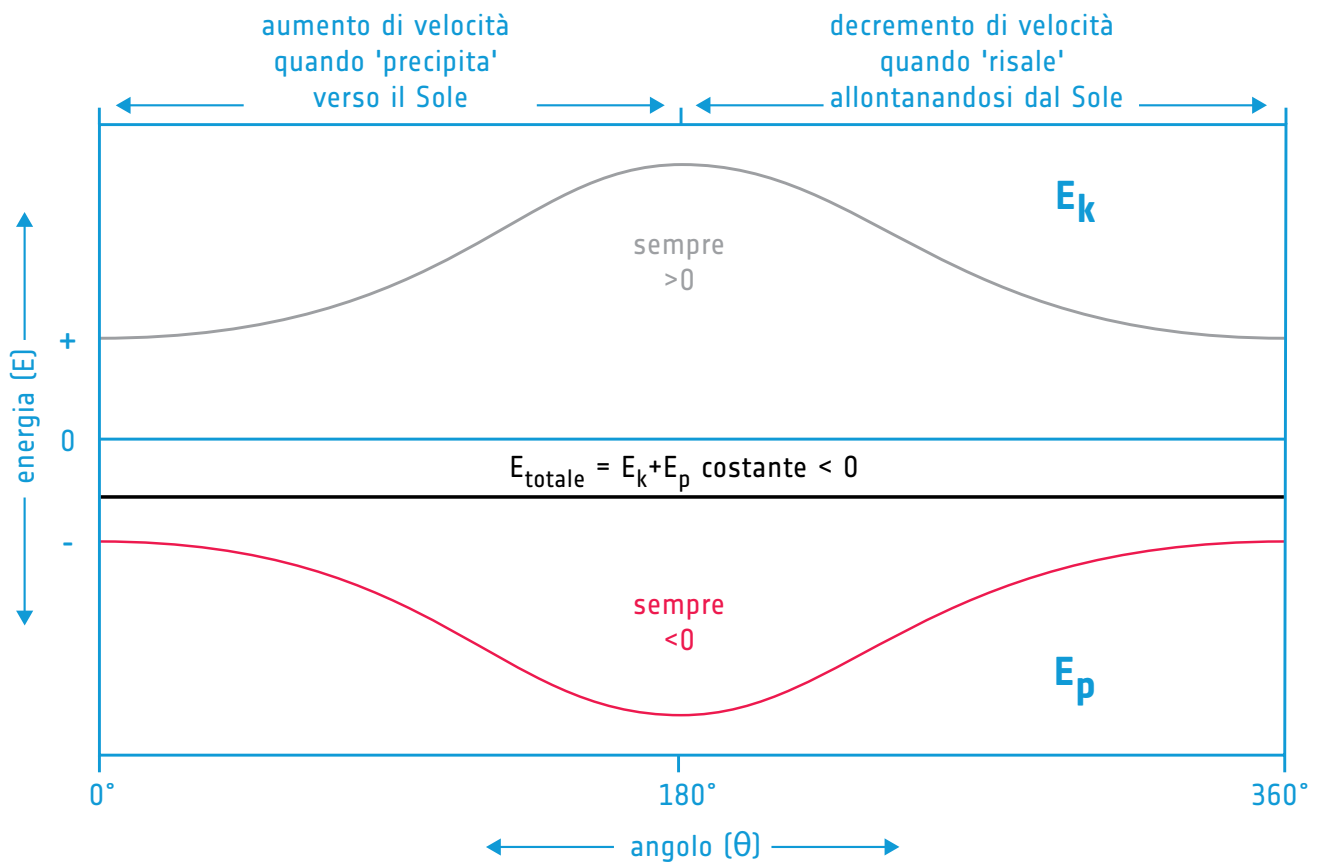
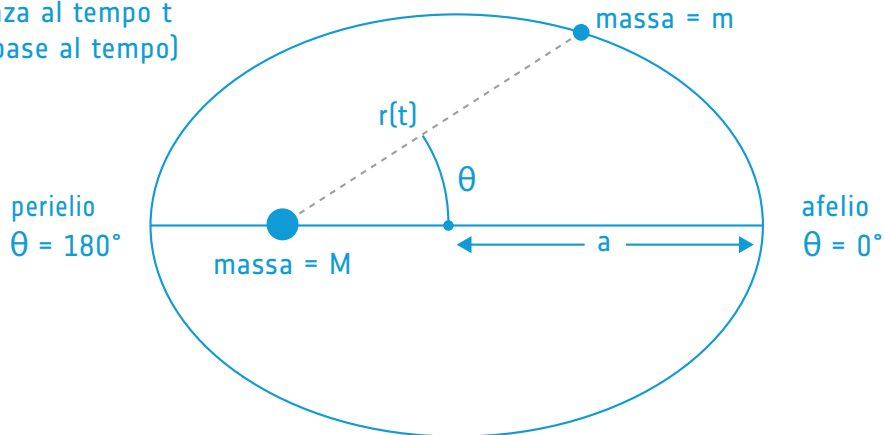
Usando quest'informazione e la possibilità di calcolare i parametri orbitali sfruttando le leggi di Keplero, gli scienziati del centro di Coordinamento per gli Oggetti Vicini alla Terra dell'ESA, con sede in Italia, vicino Roma, possono calcolare l'energia cinetica di una cometa o di un asteroide in qualunque punto della loro orbita.

Si tratta di un risultato molto importante poiché, occasionalmente, l'orbita ellittica di una cometa o di un asteroide si sovrappone a quella della Terra con la conseguenza di una potenziale collisione. Estendendo le leggi di Keplero e usando le equazioni dell'energia potenziale gravitazionale e dell'energia cinetica, è possibile valutare l'impatto potenziale di una collisione.



Figura A4

$a$  = asse semi-maggiore di un'orbita  
 $r(t)$  = distanza al tempo  $t$   
 (cambia in base al tempo)



↑ Cambiamento dell'energia cinetica e dell'energia potenziale di un corpo orbitante in base alla posizione orbitale. Il valore dell'energia totale è sempre costante.

## → CONCLUSIONI

La comprensione della natura delle orbite è fondamentale per riuscire a spiegare le osservazioni dei corpi celesti. Collegando le leggi di Keplero ai concetti di energia cinetica ed energia potenziale gravitazionale, non solo è possibile interpretare l'orbita di una cometa e i potenziali effetti di una collisione, ma anche tracciare la complessa danza orbitale che una sonda spaziale, come Rosetta, deve intraprendere per aiutarci a migliorare la nostra conoscenza dello spazio. Quest'attività consente anche a un abile docente di stimolare discussioni e aiutare gli studenti a sviluppare abilità pratiche come la precisione e l'accuratezza nelle misurazioni, la pianificazione di tabelle, la tracciatura di buoni grafici e di curve di migliore approssimazione e la comprensione del significato delle pendenze.

## Misurazione di velocità e distanza su una tavola ellittica

In quest'attività, gli studenti useranno una tavola ellittica per ottenere i valori di velocità e distanza di una cometa che descrive un'orbita ellittica.

In base alla seconda legge di Keplero sul moto dei pianeti, una linea che congiunge un pianeta al Sole spazza aree uguali in intervalli di tempo uguali.

L'area coperta sarà rappresentata usando un grosso numero di biglie. Gli studenti dovranno registrare la distanza attorno all'orbita per ogni periodo di tempo.

La distanza misurata rappresenta la velocità media di una cometa. Tenere presente che  $v=d/t$ , laddove:  $d$  è la distanza in metri (m),  $t$  è il tempo in secondi (s), e  $v$  è la velocità in  $m s^{-1}$ .

Riportare i risultati ottenuti nella tabella sottostante. Gli studenti sceglieranno le unità di misura da utilizzare a seconda dell'effettiva dimensione della loro orbita. In quest'esperimento, per esempio, possiamo dire che il periodo di tempo viene misurato in secondi e la velocità media in  $cm s^{-1}$ . Il numero di misurazioni annotate può variare a seconda del numero di biglie, pertanto gli studenti dovranno prepararsi ad effettuare circa dieci misurazioni.

Tempo	Velocità ( $cm s^{-1}$ )

Tracciare un grafico della velocità (asse  $y$ ) in relazione al tempo (asse  $x$ ). È possibile utilizzare una carta millimetrata o un foglio di calcolo. Indicare la posizione di afelio e perielio.

Assicurarsi che il grafico sia spazioso ed entri nei margini del foglio.

Disegnare una curva di migliore approssimazione che rappresenti il moto della cometa. Leggere i seguenti quesiti e arrivare ad una conclusione che spieghi la forma del grafico dando quante più risposte possibili.

## Quesiti

1. La pendenza della curva è una misura dell'accelerazione della cometa. Una pendenza decrescente indica una decelerazione. Come cambia la pendenza nel corso dell'orbita?
2. L'area sottesa dal grafico rappresenta la distanza percorsa dalla cometa. Come cambia questa distanza?
3. In che punto la cometa viaggia ad una velocità superiore? In che punto viaggia ad una velocità inferiore? Perché?
4. La gravità è più forte in prossimità del Sole e più debole man mano che ci si allontana da esso. Come incide la gravità sulla velocità della cometa?
5. Quali sono le trasformazioni energetiche che si verificano durante un'orbita?
6. Quale sarebbe la differenza per una cometa se avesse un'orbita di eccentricità maggiore?
7. Anche i pianeti orbitano attorno al Sole con i propri campi gravitazionali. Come influiscono sul percorso di una cometa?

## → LO SPAZIO E L'ESA

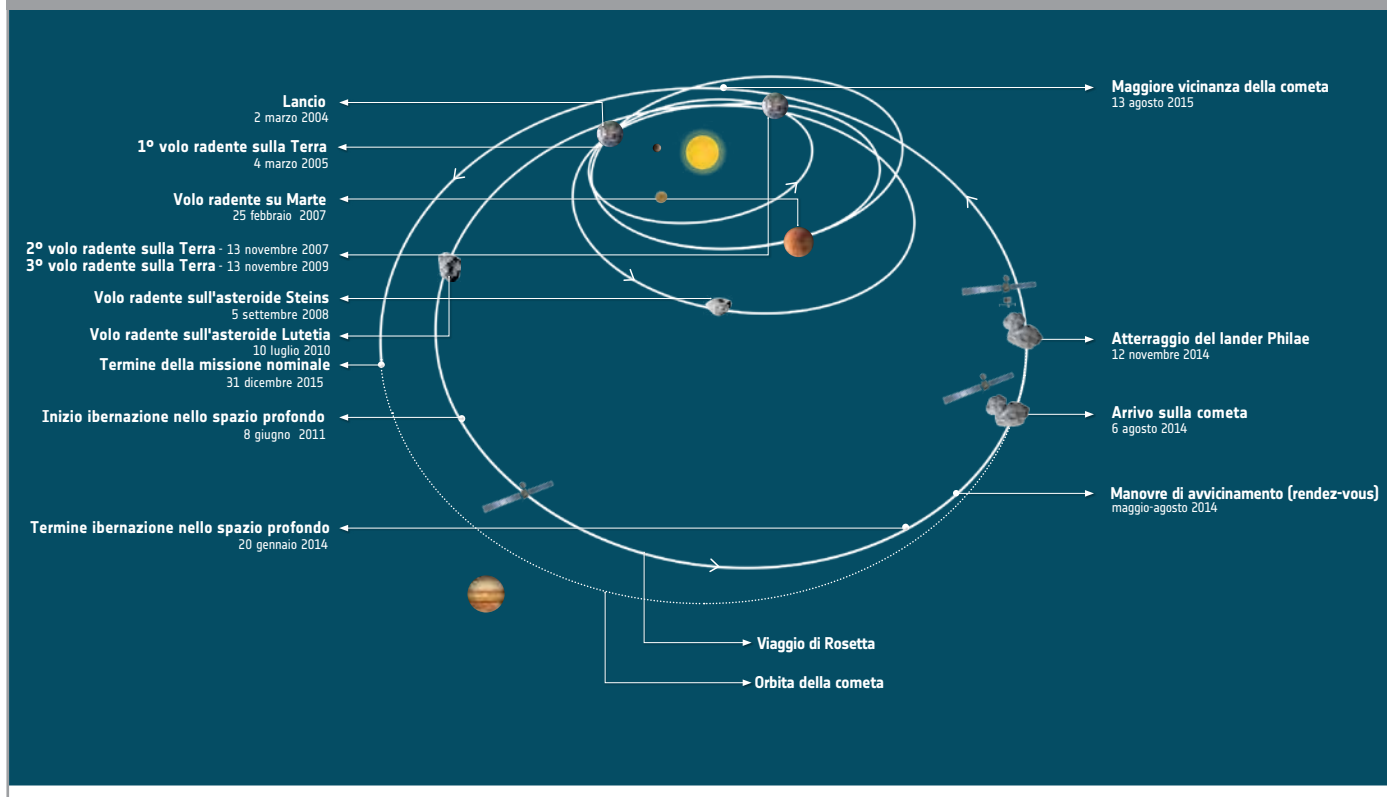
### Rosetta

Rosetta, la missione dell'ESA sulla cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, è stata lanciata nel 2004 per compiere un viaggio della durata di 10 anni il cui scopo è sorvolare e atterrare sul nucleo di una cometa.

Il primo obiettivo della missione è aiutare a comprendere l'origine e l'evoluzione del sistema solare. La composizione di una cometa riflette quella della nebulosa presolare da cui hanno avuto origine il Sole e i pianeti del sistema solare più di 4,6 miliardi di anni fa. Rosetta e il suo lander condurranno un'analisi approfondita della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko fornendo informazioni essenziali per la comprensione delle modalità di formazione del nostro sistema solare.

Esistono prove convincenti secondo cui le comete avrebbero giocato un ruolo chiave nell'evoluzione dei pianeti, dal momento che gli impatti cometari furono molto più frequenti alle origini del sistema solare rispetto ad oggi. Le comete, per esempio, potrebbero aver portato l'acqua sulla Terra. Verrà infatti condotta un'analisi della composizione chimica dell'acqua della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko per vedere se coincide con quella degli oceani terrestri. Oltre a ghiaccio e polveri, le comete contengono molte molecole complesse, compresi materiali organici che potrebbero aver avuto un ruolo cruciale nell'evoluzione della vita sulla Terra.

Figura 12



↑ La sonda dell'ESA Rosetta ha eseguito una serie di manovre di 'fionda planetaria' per raggiungere la sua destinazione.

\***Volo radente:** passaggio ravvicinato di un veicolo spaziale attorno ad un pianeta o ad un altro corpo celeste. Se la sonda sfrutta il campo gravitazionale di un corpo celeste per dare propulsione alla sua velocità e cambiare traiettoria, si parla di una manovra di swing-by o gravity-assist.

Per arrivare alla cometa, Rosetta ha dovuto compiere una serie di manovre di 'fionda gravitazionale', che consistono nello sfruttare la gravità di un corpo celeste per accelerare la velocità della sonda spaziale (Figura 12). Per raggiungere lo spazio più profondo, Rosetta ha dovuto compiere quattro manovre di fionda gravitazionale, compresi tre voli radenti\* sulla Terra e uno su Marte. Ognuna di queste manovre ha alterato l'energia cinetica di Rosetta, cambiando così la velocità della sonda e alterando le dimensioni dell'orbita ellittica.

Con un viaggio così lungo da affrontare, Rosetta è stata messa in ibernazione nel giugno 2011 per limitare il consumo di energia e carburante e ridurre al minimo i costi operativi. Quasi tutti i sistemi elettrici di Rosetta sono stati spenti, ad eccezione del computer di bordo e di alcuni riscaldatori.

Nel gennaio 2014, l'orologio interno preimpostato di Rosetta ha risvegliato la sonda affinché si preparasse al rendez-vous con la cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Dopo il risveglio, gli 11 strumenti della sonda e i 10 strumenti del lander sono stati riattivati e preparati ad eseguire le osservazioni scientifiche. È stata condotta una serie di dieci manovre critiche di correzione orbitale per ridurre la velocità della sonda rispetto alla cometa e riuscire ad adattarsi alla sua orbita ellittica.

Arrivata sulla cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko il 6 agosto 2014, Rosetta ha iniziato a compiere ulteriori manovre per posizionarsi in 'orbita' attorno al suo nucleo. Da questa posizione privilegiata, la suite di strumenti di cui è dotata Rosetta fornisce uno studio scientifico dettagliato della cometa scrutandone e mappandone la superficie con una precisione senza precedenti (Figura 13).

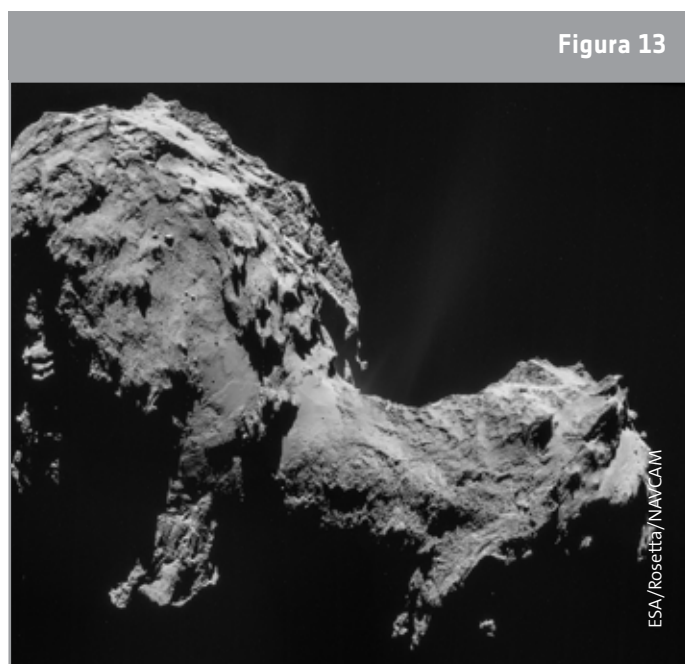


Figura 13

↑ Mosaico di quattro immagini NAVCAM della cometa 67P/Churyumov Gerasimenko scattate il 19 settembre 2014 quando Rosetta si trovava a 28,6 km dalla cometa.

Dopo l'atterraggio, Rosetta continuerà ad accompagnare la cometa nella sua orbita ellittica. Compirà un'accelerazione per fare ritorno verso il sistema solare interno insieme alla cometa e continuerà ad osservarla da vicino mentre il nucleo della cometa ghiacciata si riscalderà man mano che si avvicina al Sole.

Nel novembre 2014, dopo aver mappato e analizzato il nucleo della cometa per diversi mesi, Rosetta ha inviato il lander Philae ad eseguire il primo atterraggio mai compiuto sul nucleo di una cometa. Data la bassa gravità della cometa, Philae ha usato degli arpioni e dei chiodi da ghiaccio per restare attaccata alla superficie. La Figura 14 mostra una raffigurazione artistica del posizionamento di Philae sulla superficie.

Il lander Philae userà 10 strumenti, compreso un trapano per la raccolta di campioni della superficie e spettrometri\*, per effettuare un'analisi diretta della struttura e della composizione della cometa.



Figura 14

Sonda: ESA-J. Huart, 2014; Immagine della cometa: ESA/Rosetta/MPS per il team OSIRIS MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

↑ Il lander Philae sarà in grado di offrire informazioni senza precedenti sulla superficie e sulla struttura interna di una cometa.

## La Stazione Spaziale Internazionale e il Veicolo di Trasferimento Automatizzato

L'Europa, in collaborazione con Stati Uniti, Russia, Giappone e Canada, partecipa al più grande progetto internazionale di tutti i tempi, quello della Stazione Spaziale Internazionale. L'ISS (Figura 15), con le sue 360 tonnellate di peso e gli oltre 820 m<sup>3</sup> di spazio pressurizzato, è in grado di ospitare un equipaggio di sei persone e una vasta gamma di esperimenti scientifici. La costruzione della Stazione ha avuto inizio nel novembre 1998, con il lancio del modulo russo Zarya. L'ultimo pezzo importante della Stazione Spaziale trasportato da una sonda è stato lo strumento AMS-02 nel maggio 2011.

Grazie ad un assemblaggio completo e ad un equipaggio costante di sei astronauti, è possibile dedicare più che mai tempo ad esperimenti inimmaginabili sulla Terra.

Il più importante contributo europeo è rappresentato da Columbus, il principale modulo di ricerca per l'alloggiamento dei carichi utili europei a bordo dell'ISS. Columbus offre un laboratorio generico nonché impianti specificamente progettati per condurre esperimenti nel campo della biologia, biomedicina e fisica dei fluidi.

Le aree di studio scientifico sono molte e diversificate: dai fondamenti della fisica alla fisiologia umana, dalle nuove leghe alle radici delle piante. Il programma coinvolge circa 1500 scienziati in centinaia di esperimenti e un ampio e diversificato gruppo di utenti del settore industriale di ricerca e sviluppo. L'ISS fornisce ai ricercatori e alla comunità medica il canale necessario alla conduzione di indagini pluriennali in condizioni costanti di microgravità.

Figura 15



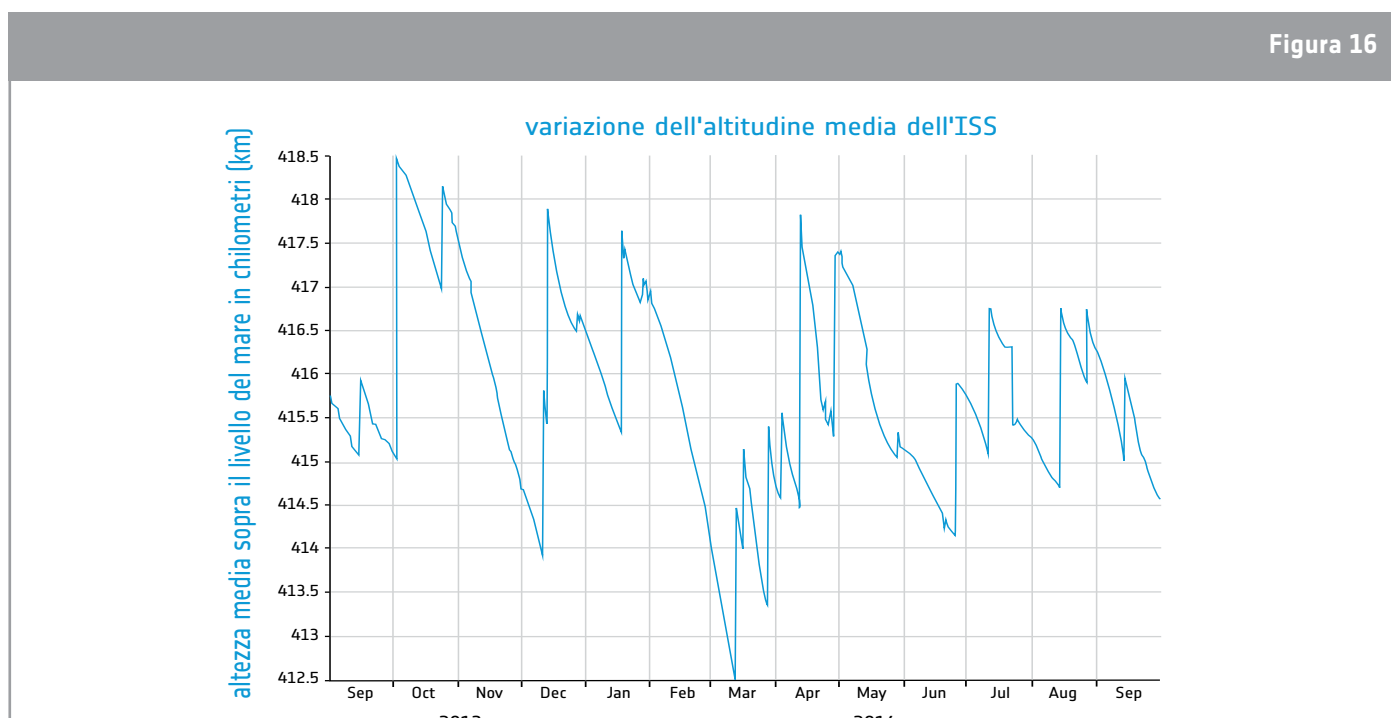
↑ [Il Veicolo di trasferimento Automatizzato agganciato alla Stazione Spaziale Internazionale,](#)

Dalla sua specifica **inclinazione\*** orbitale, l'ISS garantisce una copertura del 90% dell'area terrestre popolata (75% della superficie terrestre), affermandosi come un avamposto di inestimabile valore per il monitoraggio del clima e del pianeta. Anche l'attività solare e la radiazione cosmica sono materia d'indagine da parte dell'ISS, grazie alla capacità esterna di conduzione degli esperimenti.

Sebbene ciascun partner della Stazione Spaziale persegua gli obiettivi di ricerca della propria agenzia, sono tutti uniti nell'obiettivo comune di aumentare la conoscenza scientifica e ingegneristica per garantire il miglioramento della qualità della vita sulla Terra e forse altrove.

Il secondo maggiore contributo europeo all'ISS, dopo il modulo Columbus, è il Veicolo di Trasferimento Automatizzato (ATV), un veicolo di rifornimento lanciato in orbita con il razzo Ariane-5. L'ATV trasporta fino a 7 tonnellate di carico, compresi rifornimenti, carichi utili per gli esperimenti scientifici e carburante. Una volta agganciato, il veicolo può sfruttare i suoi motori per alzare l'orbita della Stazione, in modo da controbilanciare la fievole deriva verso l'atmosfera terrestre. Il primo veicolo, l'ATV Jules Verne, è stato lanciato nel 2008 ed è stato seguito dall'ATV Johannes Kepler nel 2011. Il terzo, l'ATV Edoardo Amaldi è stato lanciato nel 2012 e il quarto della serie, l'ATV Albert Einstein, nel 2013. Il quinto ed ultimo, l'ATV Georges Lemaître è stato lanciato nel 2014.

La Stazione Spaziale Internazionale orbita ad un'**altitudine\*** precisa, con una particolare inclinazione rispetto all'equatore terrestre e con un certo **assetto\***. L'ATV è in grado di assistere l'ISS effettuando delle modifiche all'altitudine e all'assetto, la prima delle quali è di fondamentale importanza per questa risorsa.



↑ I valori dell'altitudine dell'ISS in questo periodo sono stati superiori alla normalità grazie al potenziamento delle capacità di riposizionamento dell'ATV.

\***Altitudine:** altezza dell'ISS rispetto al livello del mare sulla Terra.

\***Assetto:** orientamento dell'ISS rispetto al suo percorso orbitale.

\***Inclinazione:** angolo del piano orbitale dell'ISS rispetto all'equatore terrestre.



L'altitudine dell'ISS è determinata principalmente da considerazioni di ordine logistico e di sicurezza. Deve essere abbastanza bassa da consentire un'ottimizzazione dei voli di trasporto ma al contempo deve superare i 278 km (la cosiddetta altitudine minima di recupero) per scagionare il pericolo di un rientro nell'atmosfera. La gestione del profilo dell'altitudine dell'ISS viene effettuata anche per limitare il consumo di carburante e ridurre al minimo l'esposizione dell'equipaggio alle radiazioni.

Ad un'altitudine di circa 400 km, la deriva atmosferica provoca un abbassamento dell'ISS di circa 100 - 200 m al giorno. La variazione del tasso di discesa è legata ai cambiamenti di densità dell'atmosfera esterna, conseguenza dell'attività solare.

Per riposizionare la Stazione alla giusta altitudine e controbilanciare l'abbassamento vengono usati i veicoli ospiti, come l'ATV, la navetta Progress o la Soyuz, anche utili per evitare detriti spaziali. Il segmento russo dell'ISS dispone anche di propulsori per effettuare piccole modifiche all'altitudine dell'ISS in assenza di veicoli ospiti. Il riposizionamento avviene ogni 10-80 giorni.

La Figura 16 mostra la variazione di altitudine dell'ISS avvenuta tra il settembre 2013 e il settembre 2014.

Ogni riposizionamento orbitale è un processo multi-fase con due fiammate successive, una diametralmente opposta all'altra (vedere la Figura 17).

La prima fiammata aumenta l'eccentricità dell'orbita mentre la seconda la riduce ma ad un'altitudine maggiore, con conseguente aumento netto dell'altitudine e riduzione della velocità, come previsto dalla terza legge di Keplero. Procedure simili vengono usate per eseguire manovre anticollisione. In questi casi il riposizionamento viene effettuato ben prima dei tempi previsti per aumentare l'altitudine della stazione, e di conseguenza la sua distanza, dall'oggetto estraneo.

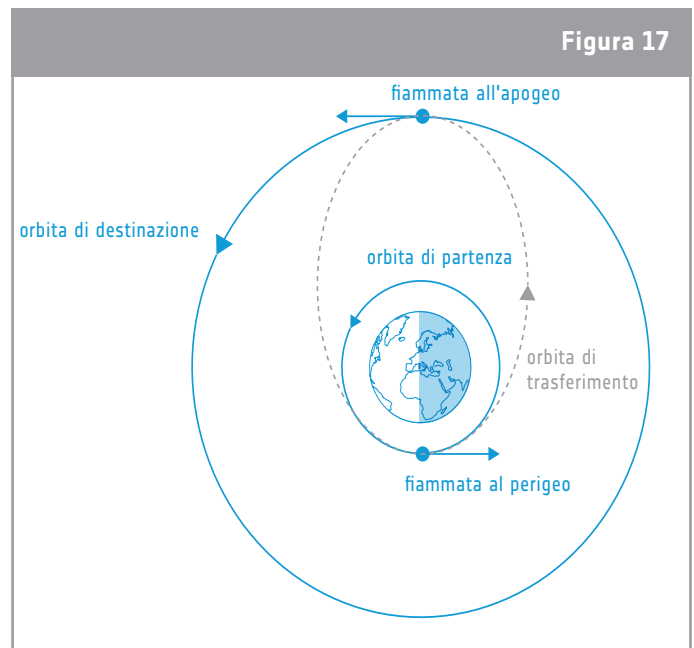


Figura 17

↑ Il riposizionamento orbitale è un processo multi-fase con 2 fiammate successive, una diametralmente opposta all'altra. L'orbita di transizione è nota come orbita di trasferimento di Hohmann.

## → APPENDICE

### Istruzioni per la realizzazione della tavola ellittica

Questa sezione fornisce le istruzioni utili alla realizzazione della tavola ellittica richiesta per lo svolgimento dell'attività.

#### Materiale

- Cartoncino rigido o tavola di legno
  - se si usa il modello della tavola ellittica, occorre una tavola di circa 75 x 60 cm
  - se si usa il metodo mostrato in Figura X1 è possibile usare una tavola di qualsiasi
- Carta semplice o modello stampato/fotocopiato per la tracciatura dell'ellisse
- Colla forte
- Penna o matita
- Spago (se si usa il metodo della Figura X1)
- 2 puntine
- Corda o un cavo elettrico plastificato (spesso circa 8 mm)
  - 2 m (se si usa il modello fornito)

#### Istruzioni per il 1° metodo

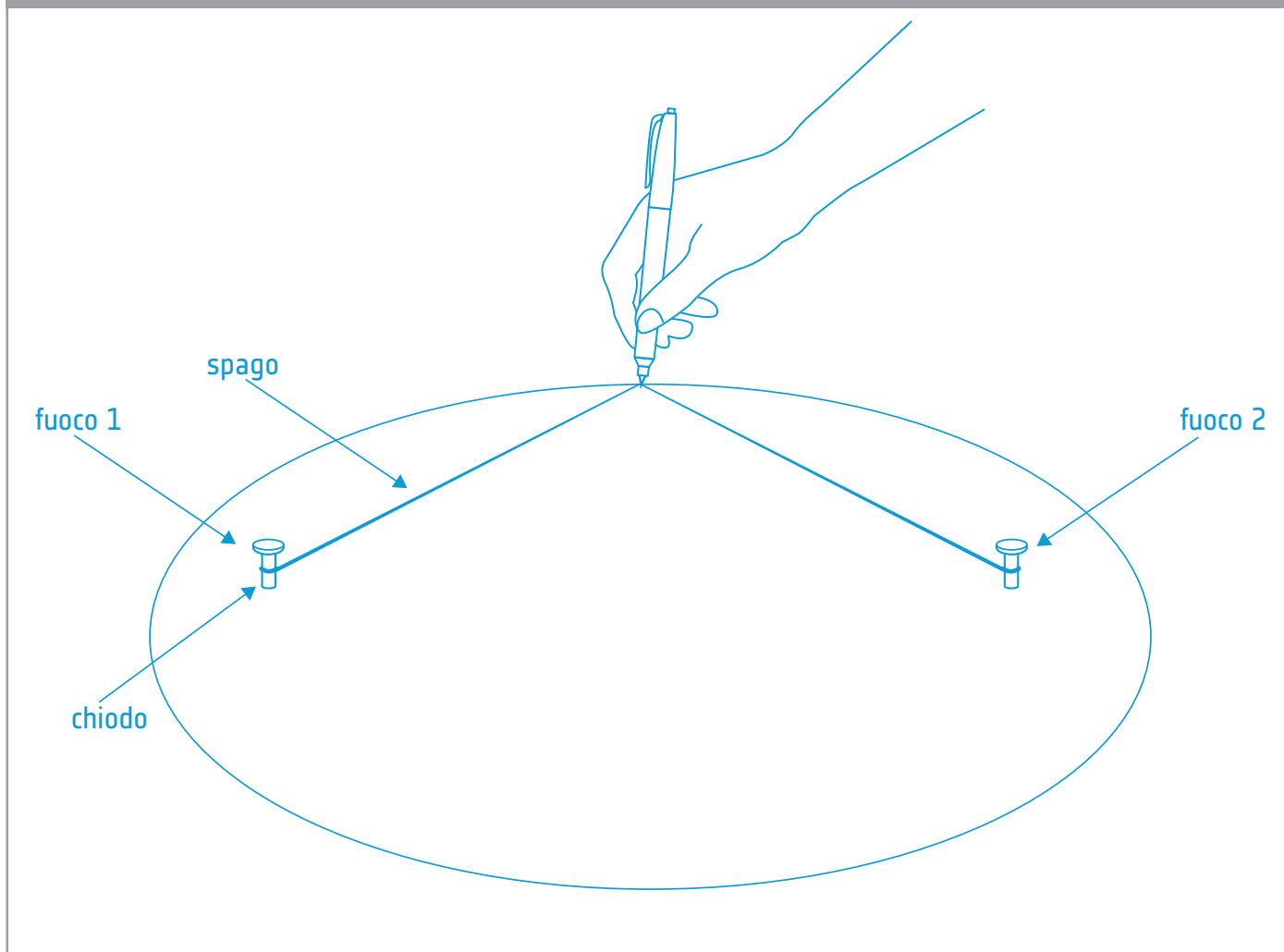
Questo metodo si basa sull'utilizzo della tavola ellittica.

1. Stampare (o copiare e adattare) le pagine 29-32 in dimensione A3.
2. Unire con la colla, facendo attenzione, i fogli in modo da formare un'ellisse.
3. Incollare la corda o il cavo plastificato sulla tavola seguendo la linea dell'ellisse.

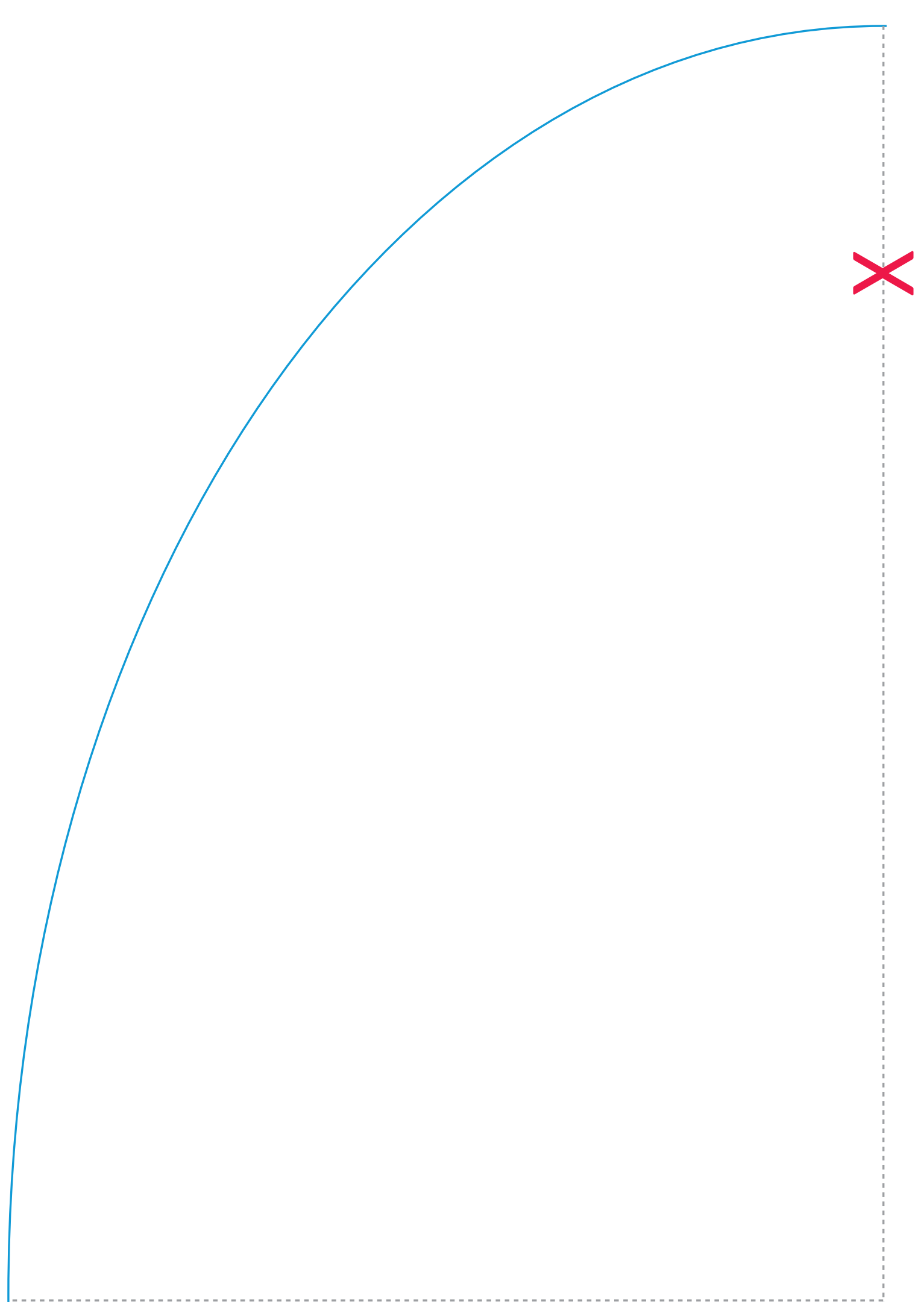
#### Istruzioni per il 2° metodo

Questo metodo si basa sull'uso di uno spago per la tracciatura dell'ellisse.

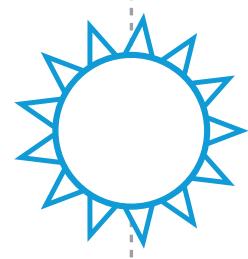
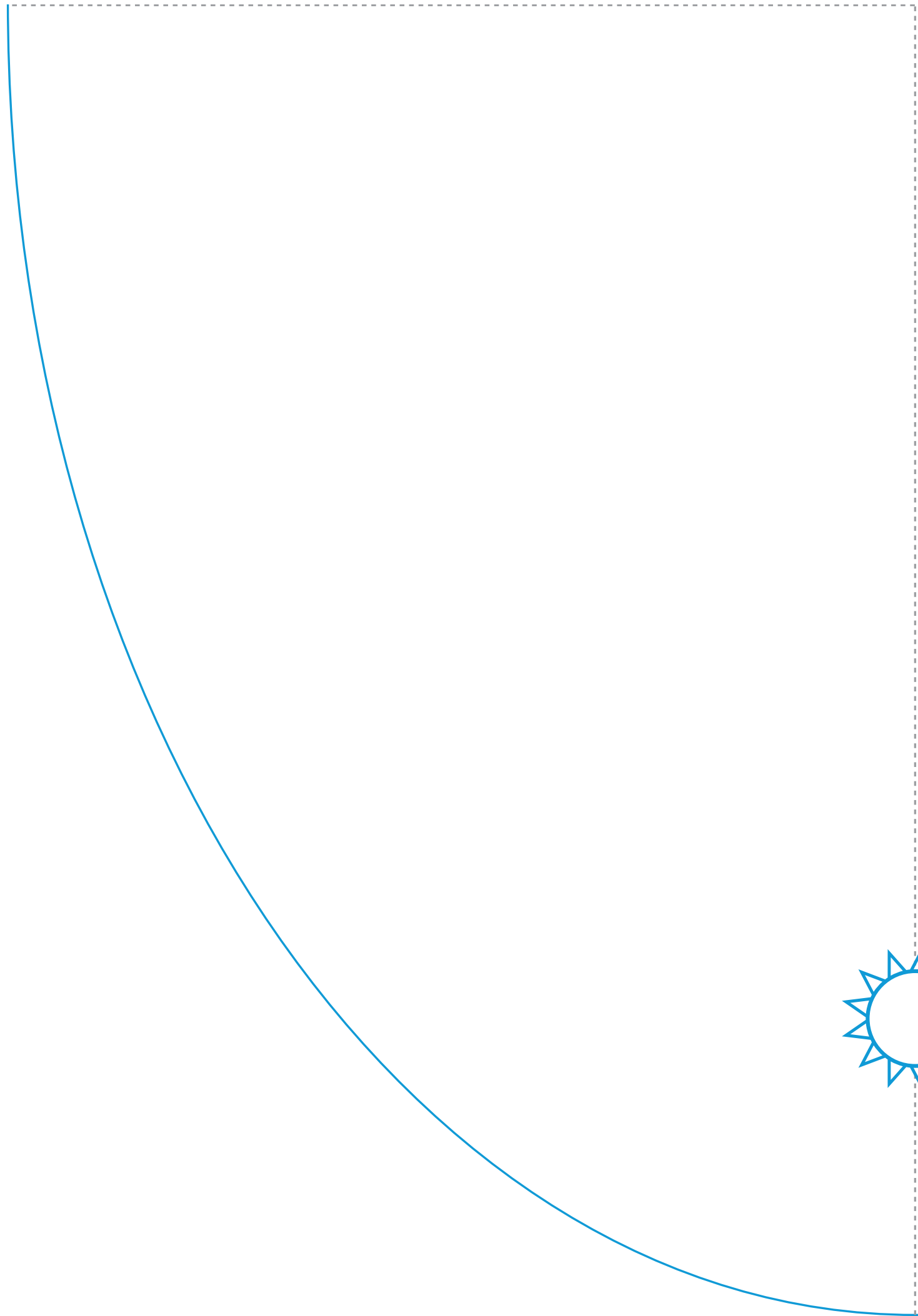
1. Coprire la tavola con un foglio di carta bianca.
2. Prendere uno spago. Attaccare lo spago a due punti della linea centrale della tavola usando delle puntine (come mostrato in Figura X1).
3. Posizionare una penna o una matita verso la metà dello spago e iniziare a tendere leggermente finché non risulti teso.
4. Spostare la penna sul foglio in modo da disegnare l'ellisse. Lo spago deve restare teso.
5. Incollare la corda o il cavo plastificato sulla tavola seguendo la linea dell'ellisse.

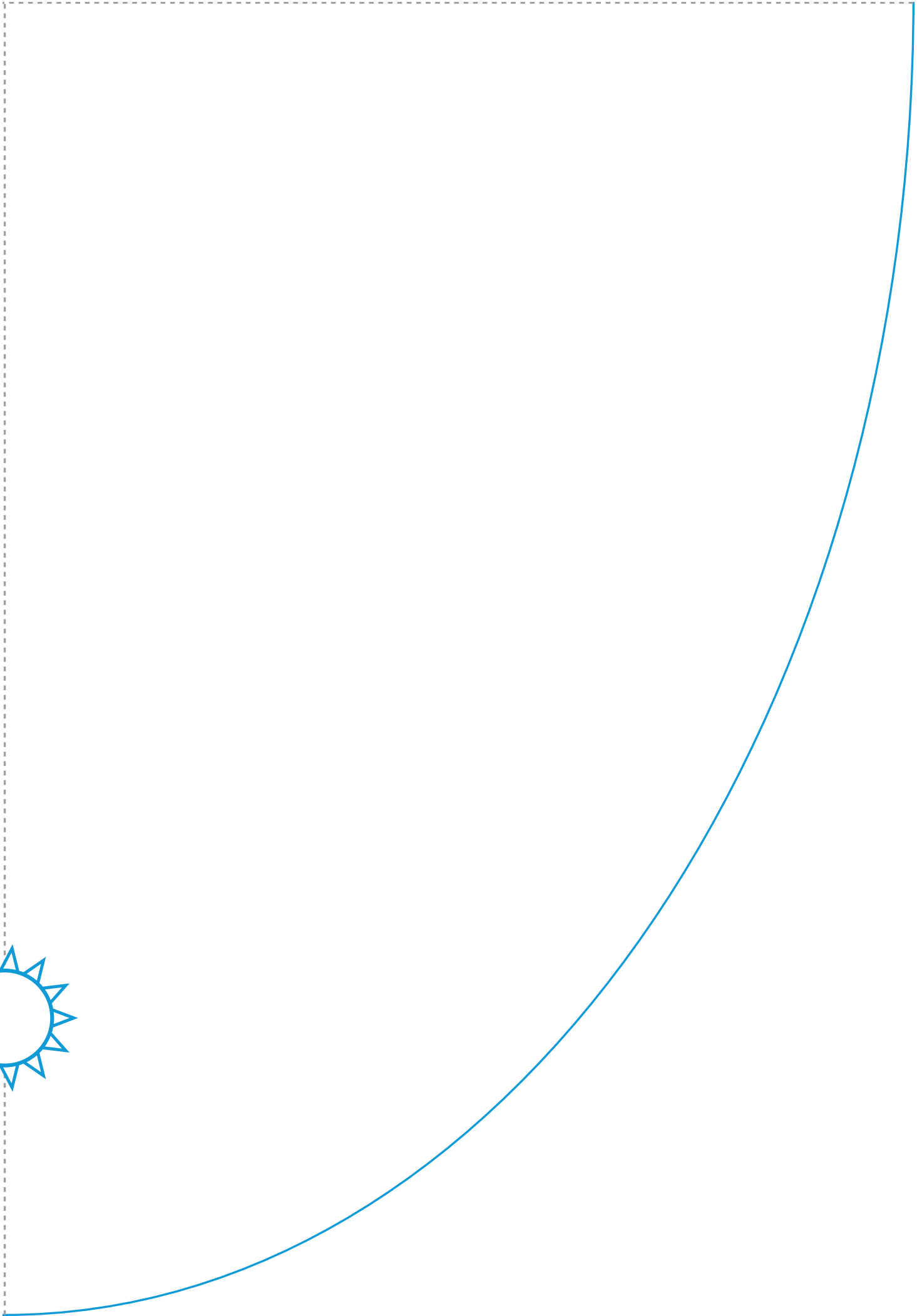
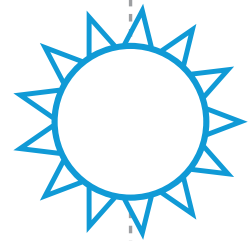


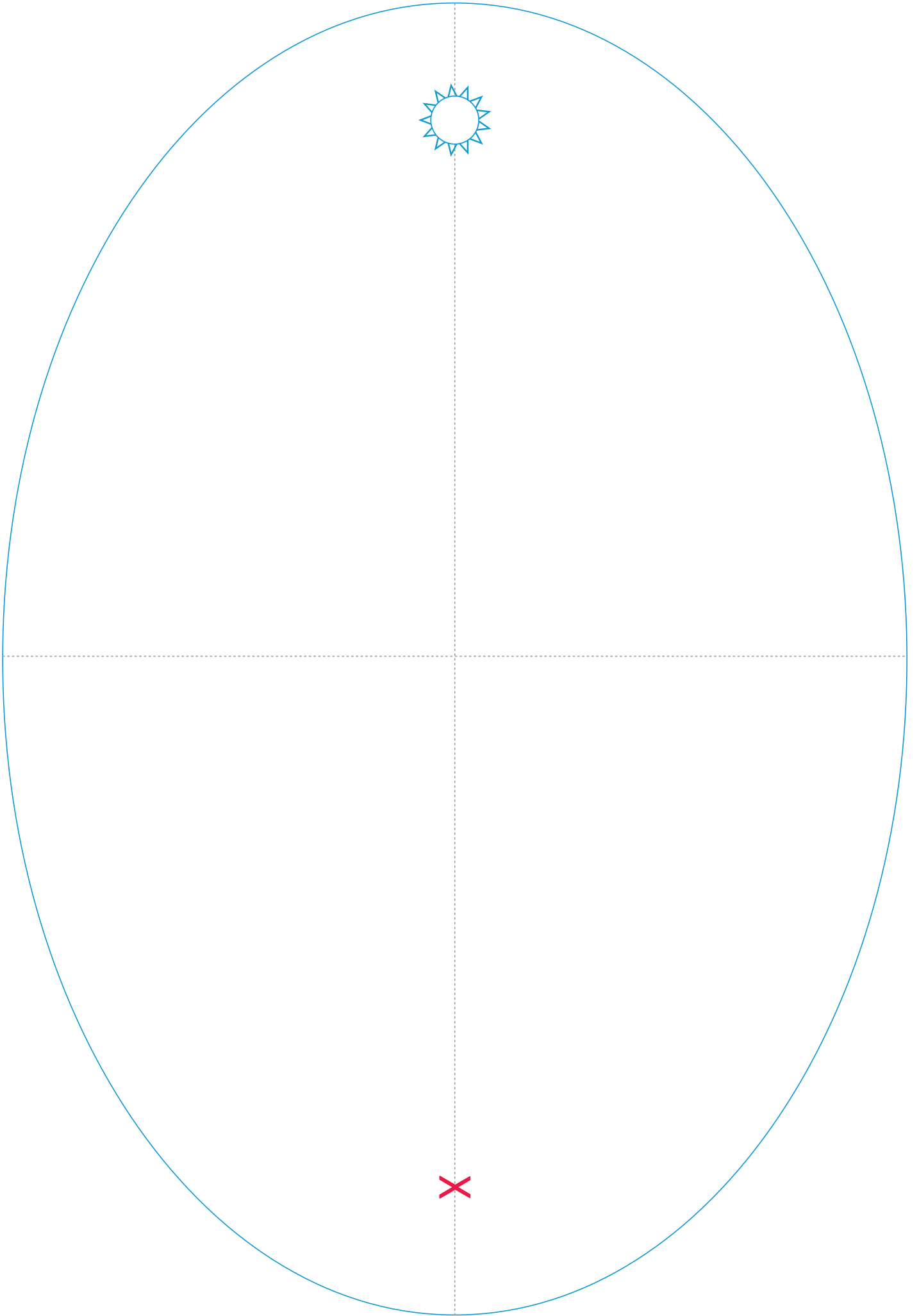
↑ Come costruire un'ellisse.













## Glossario

**Altitudine:** altezza dell'ISS rispetto al livello del mare sulla Terra.

**Assetto:** orientamento dell'ISS rispetto al suo percorso orbitale.

**Unità astronomica (UA):** 1 UA è la distanza media tra la Terra e il Sole, o il raggio dell'orbita terrestre, pari a circa 150 milioni di chilometri.

**Onda d'urto di prua (cometa):** superficie di interazione tra gli ioni nella chioma di una cometa e il vento solare. Si forma perché la velocità orbitale relativa della cometa e il vento solare sono supersonici. Si forma nella parte anteriore della cometa nella direzione del flusso del vento solare. Nell'onda d'urto, elevate concentrazioni di ioni cometari si accumulano caricando di plasma il campo magnetico solare. Ne risulta che le linee del campo si curvano attorno alla cometa, convogliando gli ioni cometari e dando così origine alla coda di gas/plasma/ioni.

**Volo radente:** passaggio ravvicinato di un veicolo spaziale attorno a un pianeta o ad un altro corpo celeste. Se la sonda sfrutta il campo gravitazionale di un corpo celeste per dare propulsione alla sua velocità e cambiare traiettoria, si parla di una manovra di swing-by o gravity-assist.

**Perturbazioni gravitazionali:** cambiamenti dell'orbita di un corpo celeste (p. es. un pianeta o una cometa) come conseguenza delle interazioni con i campi gravitazionali di altri corpi celesti (p. es. pianeti giganti, altre stelle).

**Inclinazione:** angolo del piano orbitale dell'ISS rispetto all'equatore terrestre.

**Periodo orbitale:** tempo impiegato a completare un'orbita.

**Moto retrogrado di un pianeta:** Moto apparente di un pianeta nel cielo notturno in direzione opposta a quella normalmente osservata (moto progrado).

**Vento solare:** flusso di particelle ad alta carica (plasma) emesso dall'atmosfera superiore del sole in tutte le direzioni. Principalmente composto da elettroni e protoni.

**Spettrometro:** strumento che suddivide la luce nelle lunghezze d'onda che la costituiscono per consentire la misurazione delle proprietà della sorgente luminosa.

**Sublimare (sublimazione):** quando una sostanza, in seguito ad un processo di riscaldamento, passa direttamente dallo stato solido a quello gassoso, senza diventare liquida. Quando il gas si raffredda di nuovo, forma solitamente un deposito solido.

## Collegamenti

### Rosetta

Sito web dell'ESA su Rosetta (versione inglese): [www.esa.int/rosetta](http://www.esa.int/rosetta)

Blog dell'ESA su Rosetta: [blogs.esa.int/rosetta/](http://blogs.esa.int/rosetta/)

Video e animazioni su Rosetta (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Missions/Rosetta](http://www.esa.int/spaceinvideos/Missions/Rosetta)

Immagini di Rosetta (versione inglese): [www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/\(class\)/image](http://www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/(class)/image)

Scheda relativa a Rosetta, compresa la cronologia della missione (versione inglese): [www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Rosetta/Rosetta\\_factsheet](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_factsheet)

La storia di Rosetta fino ad oggi (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta\\_the\\_story\\_so\\_far](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_the_story_so_far)

A caccia di comete (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Chasing\\_a\\_comet](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Chasing_a_comet)

Un viaggio di 12 anni nello spazio (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/10/Rosetta\\_s\\_twelve-year\\_journey\\_in\\_space](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/10/Rosetta_s_twelve-year_journey_in_space)

L'orbita di Rosetta attorno alla cometa (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta\\_s\\_orbit\\_around\\_the\\_comet](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet)

Come orbitare attorno a una cometa (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/08/How\\_to\\_orbit\\_a\\_comet](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/08/How_to_orbit_a_comet)

### Comete

Articolo ESA Kids sulle comete: [www.esa.int/esaKIDSen/SEMWK7THKHF\\_OurUniverse\\_o.html](http://www.esa.int/esaKIDSen/SEMWK7THKHF_OurUniverse_o.html)

Sito web dell'ESA dedicato a Rosetta (tecnico): [www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Rosetta](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta)

Sito web dell'ESA su Giotto (versione inglese): [sci.esa.int/giotto/](http://sci.esa.int/giotto/)

Sito web dell'ESA su Rosetta: [www.esa.int/rosetta](http://www.esa.int/rosetta)

Articolo ESA Kids sul nostro universo: [www.esa.int/esaKIDSen/SEMYCgWJD1E\\_OurUniverse\\_o.html](http://www.esa.int/esaKIDSen/SEMYCgWJD1E_OurUniverse_o.html)

### Orbite

Animazione del moto di Marte nel cielo notturno (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta\\_s\\_orbit\\_around\\_the\\_comet](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet)

Animazione sugli epicicli: Studio dell'ESA sugli epicicli (versione inglese): [ESA\\_Studio\\_Epicyles: www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2014/09/Studio\\_Epicyles](http://ESA_Studio_Epicyles:www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/Studio_Epicyles)

Animazione sugli epicicli: Studio dell'ESA sulla spiegazione del moto retrogrado (versione inglese): [www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2014/09/ESA\\_Studio\\_Retrograde\\_Motion\\_Explanation](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/ESA_Studio_Retrograde_Motion_Explanation)

L'orbita di Rosetta attorno alla cometa (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta\\_s\\_orbit\\_around\\_the\\_comet](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet)

Quiz di ESA Kids sulle orbite: [www.esa.int/esaKIDSen/SEMZPCMVGJE\\_q.html](http://www.esa.int/esaKIDSen/SEMZPCMVGJE_q.html)

Prima legge di Keplero: Studio dell'ESA della Legge 1 (versione inglese): [ESA\\_Studio\\_Law\\_1: www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2014/09/Law\\_1](http://ESA_Studio_Law_1:www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/Law_1)

Seconda legge di Keplero: Studio dell'ESA della Legge 2 (versione inglese): [ESA\\_Studio\\_Law\\_2: www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2014/09/Law\\_2](http://ESA_Studio_Law_2:www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/Law_2)

Terza legge di Keplero: Studio dell'ESA della Legge 3 (versione inglese): [www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2014/09/Law\\_3](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/Law_3)

Simulazione del sistema planetario (versione inglese): [phet.colorado.edu/sims/my-solar-system/my-solar-system\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/my-solar-system/my-solar-system_en.html)

Simulazione di un superscontro tra pianeti (versione inglese): [www.stefanom.org/spc/](http://www.stefanom.org/spc/)

### La Stazione Spaziale Internazionale e il Veicolo di Trasferimento Automatizzato

Video formativo ESA dell'ATV-2 'Johannes Kepler' (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/ATV\\_Johannes\\_Kepler\\_-\\_Orbits\\_and\\_body\\_motion\\_in\\_space](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/ATV_Johannes_Kepler_-_Orbits_and_body_motion_in_space)

Video formativo ESA dell'ATV-4 'Albert Einstein' (versione inglese): [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/ATV\\_Albert\\_Einstein\\_-\\_Relativity\\_of\\_space\\_and\\_time](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/ATV_Albert_Einstein_-_Relativity_of_space_and_time)

## Raccolta 'Spazio e insegnamento'

ESA. Spazio e insegnamento: video 'Gravity Wells' (versione inglese) | VPO4: [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity\\_wells\\_-\\_classroom\\_demonstration\\_video\\_VPO4](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_classroom_demonstration_video_VPO4)

ESA. Spazio e insegnamento: ricetta per una cometa. Guida del docente e attività per gli studenti | Po6: [http://esamulti-media.esa.int/docs/edu/Po6\\_Cooking\\_a\\_comet\\_teacher\\_guide](http://esamulti-media.esa.int/docs/edu/Po6_Cooking_a_comet_teacher_guide)

ESA. Spazio e insegnamento: video 'Cooking a Comet' (versione inglese) | VPO6: [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/10/Cooking\\_a\\_comet\\_ingredients\\_for\\_life\\_-\\_classroom\\_demonstration\\_video\\_VPO6](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_ingredients_for_life_-_classroom_demonstration_video_VPO6)

ESA. Spazio e insegnamento: video 'Marble-ous Ellipses' (versione inglese) | VPO2: [www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous\\_ellipses\\_-\\_classroom\\_demonstration\\_video\\_VPO2](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_ellipses_-_classroom_demonstration_video_VPO2)

**spazio e insegnamento: ellissi meraBigliose | P02**  
[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

**Idea sviluppata per l'ESA dalla National Space Academy,  
Regno Unito.**  
**Illustrazioni di Kaleidoscope Design, Paesi Bassi**

**Una produzione di ESA Education**  
Copyright © Agenzia Spaziale Europea 2014