

## IL MOTO DEI PIANETI NEL SISTEMA SOLARE

### Fare scienza alla secondaria di primo grado

di Nadia Correale \*

*Continua la descrizione del percorso realizzato in collaborazione con Maria Micheletti, docente di Matematica e Scienze nella classe III A della Scuola Secondaria di primo grado "Matteo Ricci" di Milano, nell'anno scolastico 2011-2012. In questa seconda fase l'approccio storico, consente agli studenti di acquisire consapevolezza riguardo all'evoluzione del pensiero scientifico che, accompagnato all'innovazione tecnica degli strumenti, ha reso possibile il passaggio dalla teoria geocentrica a quella eliocentrica.*

*\* Docente di Matematica e Scienze alla Secondaria di primo grado, attualmente frequenta l'ultimo anno del dottorato di ricerca presso l'Università degli Studi di Bergamo*

L'attività descritta è stata discussa nel Gruppo di Ricerca "Educare Insegnando", promosso dall'Associazione "Il rischio educativo"

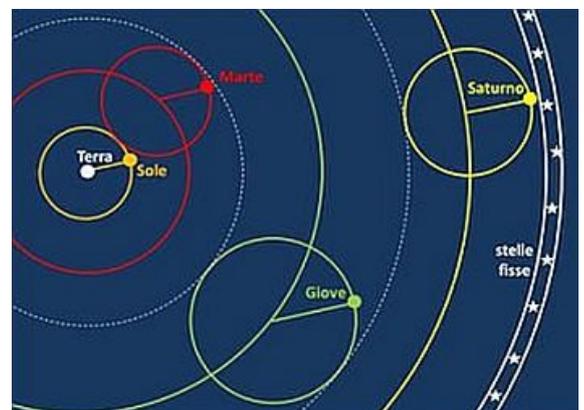
#### Dalla teoria geocentrica...

Ho incominciato ponendo agli studenti delle domande per agganciarli a quanto loro già sapevano riguardo a come l'uomo interpretava il moto dei pianeti del sistema solare fino al periodo rinascimentale. Ho fatto notare che prima dell'utilizzo dei telescopi (e dei satelliti artificiali), cioè nel periodo storico considerato, solo alcuni pianeti (Marte, Venere e Giove) erano osservabili ad occhio nudo abbastanza bene: Mercurio si avvista per pochi giorni all'anno e in certe condizioni particolari, mentre i pianeti esterni, eccetto Saturno, sono stati scoperti dopo che fu provata la correttezza della teoria eliocentrica (Urano fu avvistato per la prima volta nel 1781 da Frederick William Herschel, Nettuno nel 1846 da Johann Gottfried Galle). A questo punto ho illustrato in breve il sistema tolemaico. Osservando dalla Terra, ritenuta immobile, i pianeti allora noti, si notava che essi compivano moti complessi: la loro rotazione si sviluppava da ovest ad est, ma talora «tornavano indietro». Il sistema tolemaico interpretava il moto retrogrado, supponendo che il moto dei pianeti fosse composto di una traiettoria circolare intorno alla terra detta *deferente* e di circonferenze più piccole, detti *epicicli*, centrate in un punto del deferente.

Si pensava dunque che sia gli epicicli sia la traiettoria attorno alla Terra fossero delle circonferenze e che la velocità seguita dai pianeti fosse costante, come ho mostrato attraverso un filmato. Quando capitava che le previsioni del sistema tolemaico non corrispondevano alle osservazioni eseguite, veniva aggiunto un epiciclo per far tornare i conti.

#### ...alla teoria eliocentrica

Successivamente ho descritto in sintesi la teoria eliocentrica basata sull'ipotesi che i moti del Sole e degli altri pianeti osservati dalla Terra siano apparenti e che tutti i pianeti, compreso il nostro (non più conside-



Il moto dei pianeti osservato dalla Terra

rato un sistema di riferimento fisso), ruotino attorno al Sole. Per raggiungere questo obiettivo ho illustrato le tre concezioni, copernicana, galileiana e kepleriana, evidenziando la maturazione delle conoscenze avvenuta nel corso del tempo attraverso metodi e strumenti sempre più precisi e rigorosi.

**Nikolas Copernico (1473 - 1543)**

Copernico sosteneva l'ipotesi della rotazione e rivoluzione terrestre, riprendendo il pensiero di Aristarco di Samo, astronomo dell'antica Grecia che avevamo già incontrato nel percorso *La Terra nel Sistema Solare* (si veda *Emmeciquadro n. 46—Settembre 2012*). Tuttavia le osservazioni astronomiche su cui si basavano i suoi calcoli matematici erano molto imprecise, a tal punto che in base ad esse sembrava più plausibile la teoria geocentrica. Inoltre gli astronomi dell'epoca e Copernico stesso, presumevano che i pianeti percorressero traiettorie circolari con velocità costante.

**Galileo Galilei (1564 - 1642)**

Anche Galilei, come Copernico, era convinto che le traiettorie seguite dai pianeti fossero circolari; tuttavia l'approccio da lui seguito era molto diverso: convinto assertore del modello copernicano, cercava delle prove sperimentali a suo sostegno; per questo utilizzò uno strumento mai puntato prima verso il cielo, il cannocchiale.

Ho descritto col supporto di alcune slide e video, le principali osservazioni effettuate da Galilei a partire dal 1609 grazie a questo prezioso strumento: le montagne della Luna generate dai detriti di meteoriti, il numero enorme di stelle che compongono la Via Lattea, gli anelli di Saturno (che però gli apparvero come due corpi laterali) e le macchie solari.

Attraverso le sue osservazioni più particolareggiate della Luna e del Sole divenne evidente che i corpi celesti non erano di natura diversa rispetto alla Terra, e che gli astri non erano immutabili come si pensava in passato (in questo senso anche l'astronomo danese Tycho Brahe aveva fortemente contribuito con l'osservazione di una supernova). Inoltre Galilei poté cogliere con maggior evidenza ulteriori differenze fra le stelle e i pianeti, non legate solo al tipo di moto seguito (si era osservato che i pianeti, come abbiamo detto, seguivano talvolta un moto retrogrado), ma anche al fatto che i pianeti con il cannocchiale apparivano come delle piccole sfere, mentre le stelle mantenevano il loro aspetto puntiforme. L'aspetto che, però, ho messo principalmente in evidenza riguarda le osservazioni di Galilei che fornirono validi elementi a sostegno della teoria eliocentrica: le fasi di Venere e l'esistenza di quattro satelliti di Giove.

Grazie a queste osservazioni sembrava più convincente pensare che il moto degli altri pianeti fosse del tutto analogo a quello della Terra.

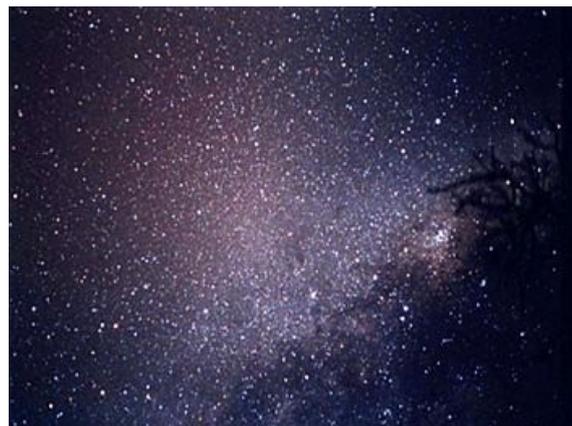
Le osservazioni di Galilei sono state sintetizzate agli studenti attraverso uno schema che favorisse la loro memorizzazione.

**Johannes Kepler (1571 - 1630)**

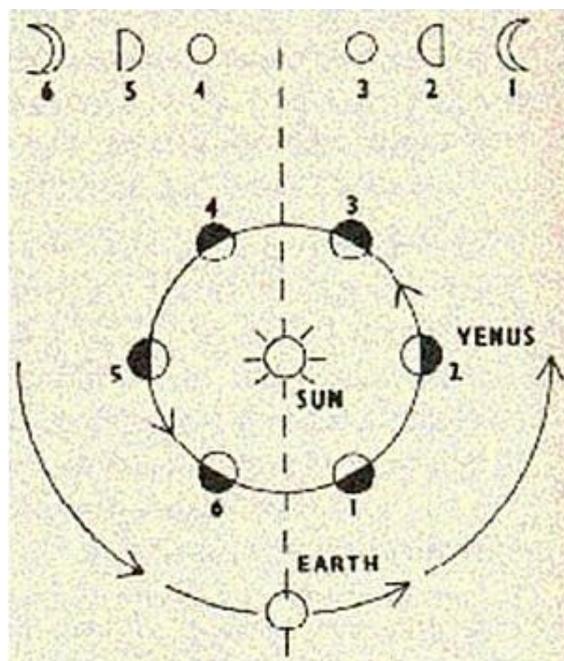
Le osservazioni di Galilei e le leggi di Keplero sono all'incirca contemporanei, ma in questo percorso ho scelto di esporre prima il lavoro di Galilei e poi quello di Keplero.

Ho preferito seguire questo ordine, in quanto esso mette a tema specificamente il moto seguito dai pianeti correttamente descritto dalle prime due leggi di Keplero; queste saranno riprese con precisione anche nell'attività che descriviamo in seguito.

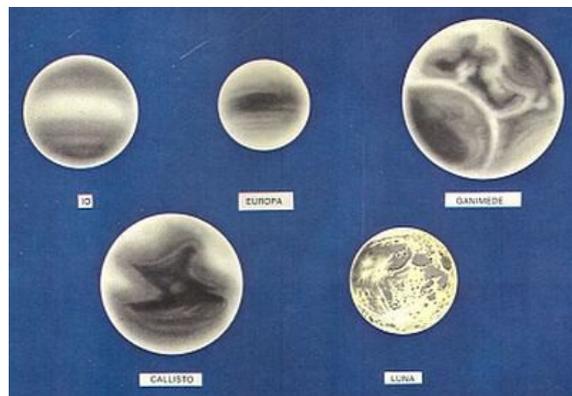
Agli studenti ho raccontato brevemente come Keplero nel 1605 riuscì a comprendere che l'orbita seguita da Marte è ellittica, avendo a disposizione le osservazioni di Tycho Brahe, a quel momento le più rigorose e sistematiche mai eseguite nella storia per mezzo del suo attrezzatissimo osservatorio in Danimarca. Ho fatto notare agli studenti che Keplero



La Via Lattea.



Le fasi di Venere



I quattro satelliti di Giove e la Luna osservati da Galilei

impiegò quattro anni per scoprire questa legge, anche perché le orbite differiscono molto poco da una circonferenza.

Per illustrare la seconda legge di Keplero, ho proiettato un video che simula il moto dei pianeti attorno al Sole nel caso in cui la traiettoria sia circolare, come pensava Galilei erroneamente, o ellittica, come definito correttamente dalla legge kepleriana. In questo caso ho potuto mostrare che la velocità di ogni pianeta aumenta al perielio e diminuisce all'afelio, restando costante la velocità areolare lungo tutta la traiettoria. A conclusione del percorso storico appena descritto, ho potuto constatare che gli studenti hanno compreso l'importanza delle prove sperimentali affinché una teoria che spiega un fenomeno venga accettata dalla comunità scientifica. Infatti è stato possibile accertare la correttezza della teoria eliocentrica in modo incontrovertibile solo in tempi molto più recenti rispetto al periodo storico considerato (1726), quando fu possibile annotare con precisione le diverse posizioni assunte nel tempo da alcune stelle, che descrivono annualmente una piccola ellisse (aberrazione stellare), che può considerata la prova del moto della Terra intorno al Sole. Se pensiamo, poi, alle leggi di Keplero, occorsero più di trenta anni, prima che esse venissero prese in considerazione e usate da Newton per la sua deduzione della forza gravitazionale.

Inoltre gli studenti hanno potuto rendersi conto di come, nell'epoca in cui sono vissuti Galilei e Keplero, le osservazioni astronomiche fossero meno rigorose a causa di strumenti a disposizione poco precisi rispetto a quelli di cui oggi possiamo disporre; possono perciò constatare che il progresso scientifico è strettamente legato anche a quello tecnologico.

Infine possono immedesimarsi nelle problematiche affrontate dagli scienziati comprendendo con maggiore profondità e interesse i metodi e i procedimenti che li hanno condotti a determinate conclusioni.

### Il grafico delle orbite ellittiche

Le attività qui descritte sono state proposte allo scopo di capire più a fondo le prime due leggi di Keplero.

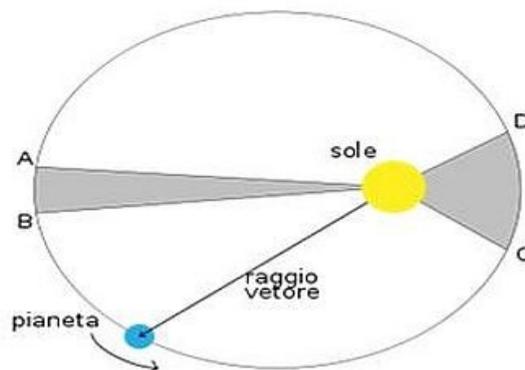
Dopo aver fornito una spiegazione di base riguardo alle caratteristiche principali di un'ellisse e al modo in cui può essere costruita, abbiamo rappresentato graficamente le orbite ellittiche dei pianeti del sistema solare (escludendo Plutone che, oltre ad essere molto lontano e molto particolare, non si trova sullo stesso piano dell'eclittica come gli altri pianeti) utilizzando un tappeto trasparente 6m x 6m steso a terra. Il motivo per cui abbiamo scelto queste dimensioni, più ampie di quelle di un foglio, è per visualizzare con più accuratezza le orbite ellittiche dei pianeti, anche quando «a occhio» sembrano delle circonferenze, nel caso in cui i fuochi sono molto vicini. Prima di procedere, ho fornito agli studenti una tabella contenente i dati numerici della distanza massima e minima reale di ogni pianeta dal Sole. Infine abbiamo ragionato sui criteri da utilizzare per scegliere il rapporto di scala adeguato che ci consentisse di riportare sul telo le orbite ellittiche rispettando le proporzioni delle misure reali.

Abbiamo poi riflettuto insieme su come potevamo costruire le orbite sul nostro telo con gli strumenti che avevamo a disposizione: uno spago, un pennarello, due chiodi di cui uno fissato nella posizione del Sole, che occupa uno dei due fuochi dell'ellisse; un'asta di legno per fissare il secondo chiodo mobile che segna la posizione del secondo fuoco dell'orbita di ogni pianeta; per le orbite più piccole dei pianeti interni si sono sostituiti i due chiodi con due puntine fissate su un foglio e lo spago con un filo.

Gli studenti per casa hanno eseguito lo stesso esercizio su un foglio di carta millimetrata con l'aiuto di indicazioni fornite dall'insegnante della classe per la scelta del rapporto di scala opportuno.

Una volta disegnate le orbite di tutti i pianeti ho chiesto a uno studente di simulare il moto di uno di essi applicando la seconda legge di Keplero, in modo analogo a quanto avevamo visto nel filmato: lo studente, su una delle traiettorie disegnate, camminava più o meno velocemente, mentre gli altri compagni dovevano aiutarlo nell'esecuzione del moto, fornendo suggerimenti in base alle conoscenze acquisite.

Di seguito riporto la descrizione dell'attività svolta, tratta dalla relazione di uno studente.



*Velocità dei pianeti nel loro moto di rivoluzione.*

## La rappresentazione delle orbite ellittiche dei pianeti

Lo scopo della nostra attività è quello di descrivere il percorso seguito dai pianeti nel loro periodo di rivoluzione attorno al Sole, sapendo che esso ha la forma di un'ellisse e che uno dei suoi fuochi è occupato dal Sole (come è descritto dalla prima legge di Keplero).

Gli elementi principali di un'ellisse sono: i due fuochi, l'asse maggiore e l'asse minore.

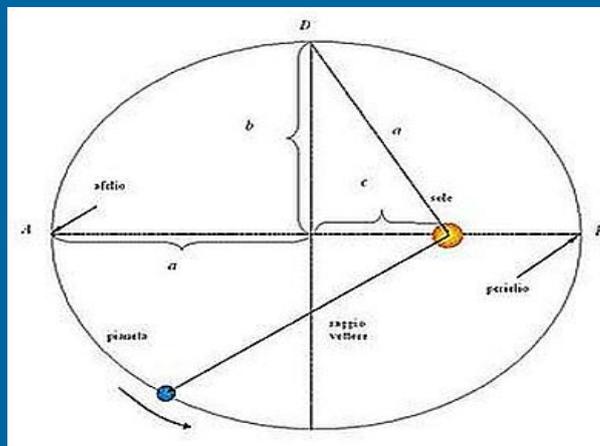
Per quanto riguarda la traiettoria dei pianeti esistono due posizioni particolari che essi occupano nel loro percorso: l'afelio, che corrisponde al punto di distanza massima del pianeta dal fuoco occupato dal Sole, il perielio, che corrisponde al punto di distanza minima del pianeta dal fuoco occupato dal Sole. Se tracciamo una retta che unisce il perielio con l'afelio otteniamo l'asse maggiore dell'ellisse.

Per disegnare le orbite abbiamo proceduto in questo modo: abbiamo calcolato per ogni pianeta la distanza tra i due fuochi e la lunghezza della corda, che corrisponde alla misura dell'asse maggiore dell'ellisse.

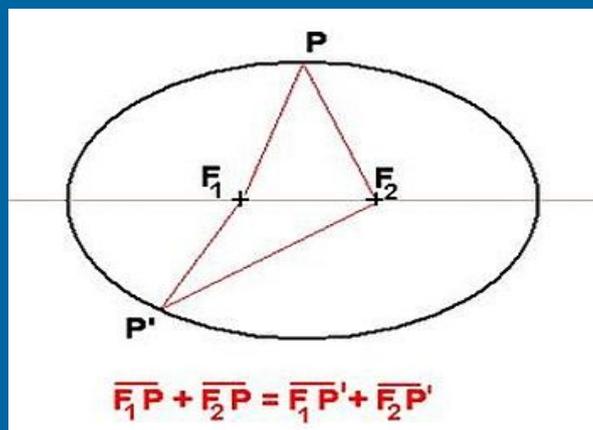
Osservando il disegno ci accorgiamo che il primo parametro è dato dalla differenza tra la distanza massima e minima del pianeta dal Sole:

$$F_1P - F_2P = F_1F_2 \text{ (distanza tra i due fuochi)}$$

La lunghezza della corda (cioè  $F_1P + F_2P$  che è sempre costante, come mostra la figura qui a fianco) è data dalla somma della distanza massima e minima del pianeta dal Sole (lo si vede bene nel caso particolare in cui la corda è posizionata in modo tale da essere allineata al punto di afelio e di perielio). La distanza massima e minima di ogni pianeta dal Sole ci è stata fornita dall'insegnante.



L'orbita seguita dai pianeti con il perielio e l'afelio messi in evidenza



Il valore ottenuto sommando la distanza fra il Sole e la posizione P occupata dal pianeta con quella tra il secondo fuoco e P è sempre costante.

L'insegnante ci ha mostrato come ha calcolato velocemente, usando excel,  $F_1F_2$  e l'asse maggiore in base alle formule appena scritte.

### LEGENDA:

PS = Distanza del pianeta quando occupa il punto di Perielio dal Sole  
AS = Distanza del pianeta quando occupa il punto di Afelio dal Sole  
UA = unità astronomica = 150 milioni di Km

PIANETA	Distanza media dal Sole (milioni di Km)	PS (milioni di Km)	AS (milioni di Km)	AS + PS (mil. di Km)	AS - PS (mil. di Km)	PS in UA	AS in UA
MERCURIO	58	45	70	115	25	0,3	0,47
VENERE	108	108	110	218	2	0,72	0,73
TERRA	149	147	152	299	5	0,98	1,01
MARTE	228	206	249	455	43	1,37	1,66
GIOVE	778	740	816	1556	76	4,9	5,44
SATURNO	1.427	135	1509	1644	1374	0,9	10,06
URANO	2.870	2742	3013,5	5755,5	271,5	18,28	20,09
NETTUNO	4.497	4470	4549,5	9019,5	79,5	29,80	30,33

Nella tabella sono riportate la distanza media dei pianeti dal Sole, la distanza dal Sole in afelio e perielio, la distanza tra i fuochi e l'asse maggiore delle orbite dei pianeti.

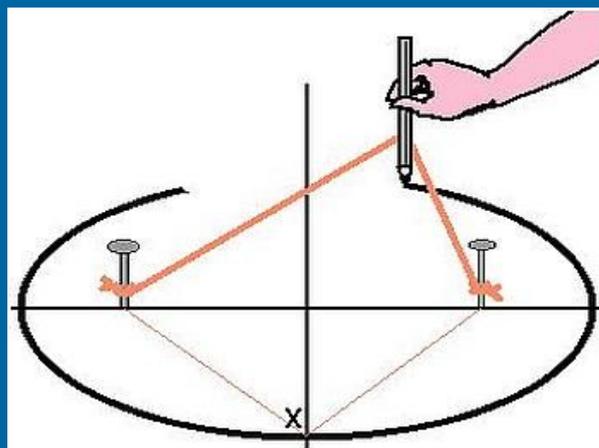
In seguito abbiamo calcolato la distanza dei fuochi in scala nel caso del pianeta più esterno da noi considerato (Nettuno) conoscendo la lunghezza massima del telo (6 m), a cui abbiamo fatto corrispondere la lunghezza della corda. Abbiamo dunque impostato la seguente proporzione introducendo i valori di  $F_1, F_2$  e di  $F_1, P$  +  $F_2, P$  relativi a Nettuno riportati nella tabella:

$$6m : (F_1P + F_2P) = x : F_1F_2$$

Abbiamo potuto ricavare la costante di proporzionalità da utilizzare per disegnare tutte le altre orbite sul telo (la lunghezza della corda e la distanza tra i fuochi da riportare sul disegno si ottengono moltiplicando i due parametri reali per la costante).

Per disegnare le diverse ellissi abbiamo teso con cura la corda fissata ai due fuochi facendo scorrere la matita o il pennarello che via via tracciava la curva sul telo.

Per compito a casa abbiamo disegnato le orbite dei pianeti su un foglio di carta millimetrata, impostando una nuova proporzione in base alle nuove misure del foglio che abbiamo utilizzato

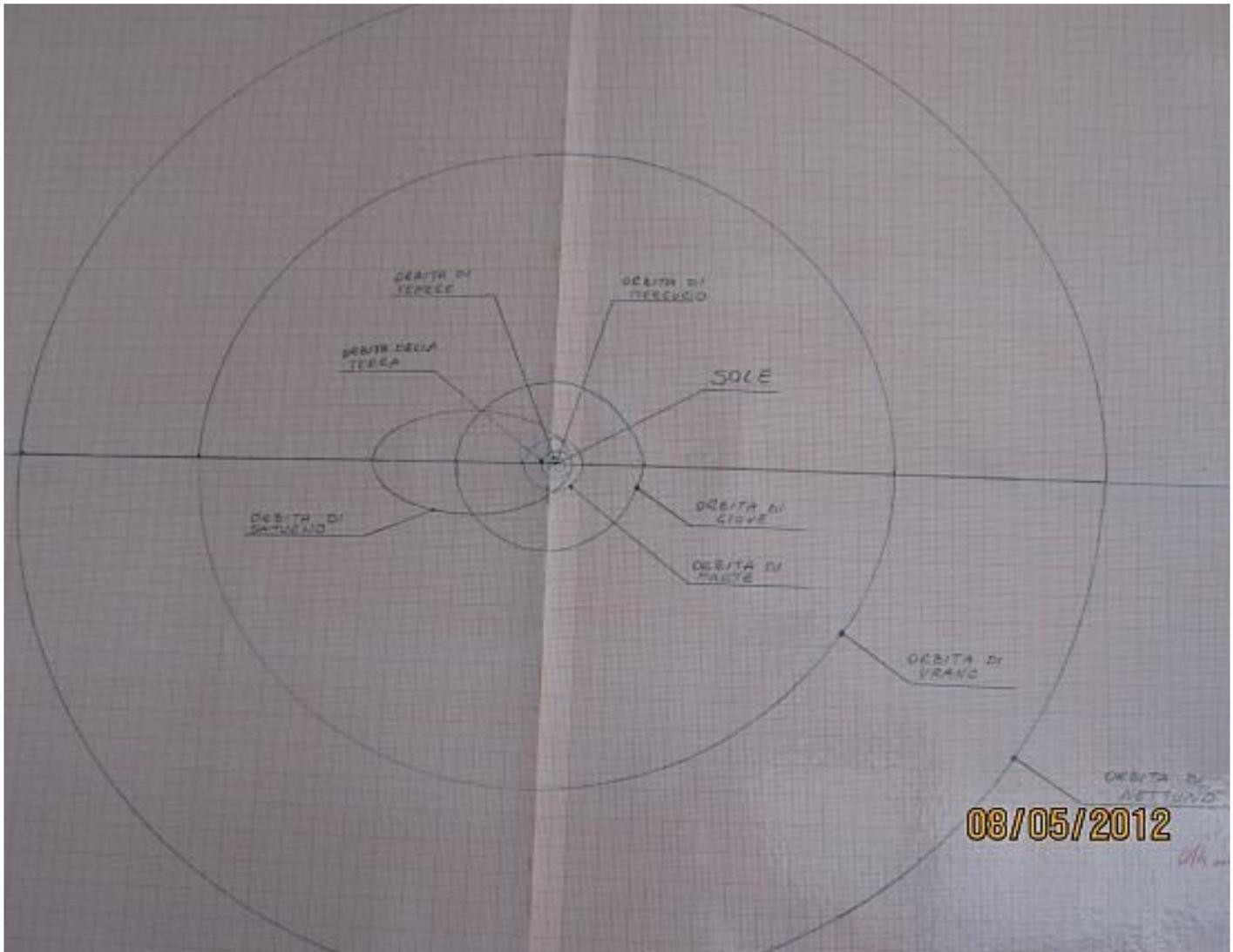


Costruzione dell'ellisse

La tabella seguente è stata ottenuta con foglio excel contenente i valori necessari per la rappresentazione delle orbite su carta millimetrata. P corrisponde alla distanza del pianeta dal Sole quando si trova nel punto di perielio; A corrisponde alla distanza del pianeta dal Sole quando si trova nel punto di afelio; il valore 0,8 corrisponde alla costante di proporzionalità calcolata per rappresentare le orbite sul foglio.

ORBITE	Perielio(P)	Px0,8	Afelio(A)	Ax0,8	P+A=D+	(P+A)x0,8	P-A	(P-A)x0,8
Unità di Misura	UA	Cm	UA	Cm	UA	Cm	UA	Cm
MERCURIO	0,3	0,24	0,47	0,38	0,77	0,62	0,17	0,14
VENERE	0,72	0,576	0,73	0,58	1,45	1,16	0,01	0,01
TERRA	0,98	0,784	1,01	0,81	1,99	1,59	0,03	0,02
MARTE	1,37	1,096	1,66	1,33	3,03	2,42	0,29	0,23
GIOVE	4,9	3,92	5,44	4,35	10,34	8,27	0,54	0,43
SATURNO	0,9	0,72	10,06	8,05	10,96	8,77	9,16	7,33
URANO	18,28	14,624	20,09	16,07	38,37	30,70	1,81	1,45
NETTUNO	29,8	23,84	30,33	24,26	60,13	48,10	0,53	0,42

ORBITE	Perielio (P)	Px0,6	Afelio (A)	Ax0,6	P+A=D+	(P+A)x0,6	P-A	(P-A)x0,6
Unità di misura	UA	Cm	UA	Cm	UA	Cm	UA	Cm
MERCURIO	0,3	0,6	0,47	0,28	0,77	0,46	0,17	0,10
VENERE	0,72	0,432	0,73	0,44	1,45	0,87	0,01	0,01
TERRA	0,98	0,588	1,01	0,61	1,99	1,19	0,03	0,02
MARTE	1,37	0,822	1,66	1,00	3,03	1,82	0,29	0,17
GIOVE	4,9	2,94	5,44	3,26	10,34	6,20	0,54	0,32
SATURNO	0,9	0,54	10,06	6,04	10,96	6,58	9,16	5,50
URANO	18,28	10,968	20,09	12,05	38,37	23,02	1,81	1,09
NETTUNO	29,8	17,88	30,33	18,20	60,13	36,08	0,53	0,32



*Disegno su carta millimetrata delle orbite dei pianeti in scala.*

### Una valutazione

Gli aspetti interessanti di questa attività ai fini dell'apprendimento, sono molteplici. Ne rileviamo alcuni. Prima di tutto gli studenti hanno modo di imbattersi nello studio di una nuova curva geometrica, l'ellisse, venendo a conoscenza di alcune sue caratteristiche, quali: l'asse minore e maggiore, i due fuochi e l'eccentricità, di cui constatano l'aumento di valore quando l'ellisse «si schiaccia». Da questo punto di vista possono rendersi conto che, per esempio, l'orbita terrestre in effetti appare quasi una circonferenza nei disegni eseguiti in scala (al contrario di quello che di solito mostrano le illustrazioni che si trovano sui libri di testo differisce molto poco da una circonferenza) mentre l'orbita di Saturno e Mercurio appare molto schiacciata. Di conseguenza il modello con traiettoria a forma di circonferenza, soprattutto se abbiamo a disposizione un foglio da disegno di dimensioni standard, è un'approssimazione accettabile che semplifica molto le cose; basta porre la distanza tra Terra e Sole pari all'unità cioè considerare tale distanza come unità di misura di riferimento (che corrisponde all'Unità astronomica, UA) e impostare le altre proporzioni per trovare le distanze degli altri pianeti. Ecco perché ha senso parlare di distanza media dal Sole senza considerare i parametri tipici dell'ellisse. In questo senso potrebbe

valere la pena eseguire anche un disegno assumendo che le orbite siano circolari e adottando lo stesso rapporto in scala scelto per la rappresentazione delle orbite ellittiche; in tal modo potrebbero essere confrontati i due modelli.

Gli studenti attraverso il lavoro che abbiamo descritto hanno potuto rendersi conto dell'enorme diversità di distanze esistente tra i pianeti interni ed esterni rispetto al Sole. Inoltre hanno la possibilità di utilizzare strumenti matematici alla loro portata, le proporzioni, con cui calcolare la distanza massima e minima (o la distanza media se si considerano le orbite circolari) dei pianeti dal Sole in base al rapporto di scala scelto. Il vantaggio di applicare le conoscenze matematiche nelle scienze è che se ne comprende meglio l'utilità, avendo l'occasione di cogliere i nessi tra le due discipline e favorendo l'acquisizione degli strumenti matematici in modo non meccanico e procedurale.

Concludo suggerendo ai docenti di recarsi presso un osservatorio astronomico per affrontare un percorso del genere appena descritto: i ragazzi potrebbero osservare i pianeti e le stelle prima a occhio nudo, poi servendosi di un telescopio.

*(La prima parte del percorso descritto è presentata sul n. 46 – settembre 2012 di questa rivista).*

*Nadia Correale*

*(Docente di Matematica e Scienze alla Secondaria di primo grado, attualmente frequenta l'ultimo anno del dottorato di ricerca presso l'Università degli Studi di Bergamo)*