

Il Sistema Solare: una panoramica

Prof. Luigi A. Smaldone

Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Napoli “Federico II” - Planetario di Caserta
smaldone@planetariodicaserta.it

Introduzione. Queste brevi note sono (e vogliono essere) solamente la raccolta di un numero limitato di notizie riguardanti i costituenti principali del Sistema Solare e la proposta di alcuni suggerimenti per piccoli esperimenti da poter realizzare in classe.

Per quanto riguarda il primo aspetto, la selezione nella enorme mole di informazione, accumulatasi negli ultimi quaranta anni di esplorazioni spaziali, è stata effettuata in maniera molto soggettiva (l'aggettivo *principale* ha, quindi, valenza solo personale); è essenzialmente un invito a ricercare i *vostri parametri principali* presso altre fonti. Per gli *informatizzati* una fonte poderosa ed a basso costo la si trova su World-Wide-Web, è **The Nine Planets: A Multimedia Tour of the Solar System** di Bill Arnet, costituita da oltre 100 pagine web corredate di meravigliose immagini, filmati e suoni in linea. Queste note sono, in parte, un saccheggio di tali pagine. L'indirizzo è: <http://www.nineplanets.org>. La versione in italiano, non sempre aggiornata, è a questo indirizzo: <http://www.mtsn.tn.it/astrofili/tnp/>

Per quanto riguarda il secondo aspetto, la sperimentazione in classe, ho riportato alla fine di queste note alcuni piccoli e non costosi esperimenti appropriati per studenti delle ultime classi del ciclo primario e delle classi della ciclo secondario inferiore. Spero vivamente che, insieme, si riesca ad incidere profondamente sulla crescita culturale degli studenti di questa nostra regione fortemente penalizzata da criminalità ed inadeguatezza della classe politica.

Una panoramica. Il Sistema Solare è costituito dal Sole e dagli oggetti che ad esso sono legati gravitazionalmente: i 9 pianeti (in realtà, a partire dall'agosto 2006, sono 8 in quanto Plutone è stato riclassificato come pianeta nano ma qui continuerò a considerarlo un pianeta, visto che in molti libri scolastici è ancora riportato come tale), oltre 130 (per ora) satelliti dei pianeti, un grande numero di piccoli corpi (le comete e gli asteroidi) ed il mezzo interplanetario. Il Sistema Solare **interno** contiene il Sole, Mercurio, Venere, Terra e Marte; i pianeti del Sistema Solare **esterno** sono Giove, Saturno, Urano, Nettuno e Plutone.

Le **orbite** dei pianeti sono ellissi con il Sole in un fuoco. Quasi tutte (eccetto quelle di Mercurio e Plutone) possono essere considerate, in molte applicazioni, circolari: l'eccentricità, cioè il rapporto tra la distanza tra i fuochi e l'asse maggiore, è quasi sempre molto piccola. Le orbite dei pianeti sono, più o meno, nello stesso piano dell'orbita terrestre, detta **eclittica**; l'orbita di Plutone è in un piano che devia maggiormente dall'eclittica (è inclinato di più di 17°) seguito da Mercurio, con un'inclinazione di 7° (le **anomali**, cioè deviazioni da comportamenti *normali*, sono la felicità dei ricercatori ... per Mercurio, fino alla nascita della Relatività Generale nel 1916, se ne cercava la causa in un possibile pianeta esistente tra Mercurio ed il Sole - avevano pronto anche il nome, Vulcano - per Plutone l'ipotesi è che sia stato un satellite di Nettuno). Tutti i pianeti orbitano intorno al Sole nella stessa direzione e ruotano (intorno ad un asse più o meno inclinato rispetto all'eclittica ... e quindi stagioni più o meno pronunciate) nello stesso verso (eccetto Venere, Urano e Plutone che

ruotano in direzione opposta o retrograda). In **Tabella I** sono riportati i parametri orbitali essenziali per i pianeti.

La distanza media dal Sole è riportata in milioni di chilometri ed in unità di distanza Sole-Terra, detta **Unità Astronomica**; nella colonna *Inclin.* è riportata l'inclinazione del piano dell'orbita rispetto all'eclittica; per *Vel Orb* si intende la velocità media sull'orbita, in chilometri al secondo (è un dato impressionante ... nell'intervallo di tempo di uno schiocco di dita, la Terra si è spostata di 30 Km!). *Eccen.* sta per eccentricità dell'orbita (distanza tra i due fuochi diviso asse maggiore), più è basso il suo valore e più l'orbita si avvicina ad una circonferenza. Nella colonna *Rotaz.* è riportato il periodo di rotazione *siderale*, cioè l'intervallo di tempo (in giorni solari medi) tra due successivi passaggi della stessa stella al meridiano (notare che per la Terra è di 23^h56^m4^s ! mentre il Sole impiega 24 ore tra due passaggi al meridiano ... occorre tener conto del moto di rivoluzione della Terra); con valori negativi sono state indicate le rotazioni retrograde.

Nome	Distanza dal Sole		Periodo di rivol.		Inclin.	Eccen.	Vel Orb	Rotaz.
	Mil. Km	di A.U.	anni	giorni				
Mercurio	57,9	0,39	0,24	88,0	7,0°	0,21	47,87	58,60
Venere	108,2	0,72	0,61	224,7	3,4°	0,01	35,02	-243,20
Terra	149,6	1,00	1,00	365,3	0,0°	0,02	29,79	0,99
Marte	227,9	1,52	1,88	687,0	1,8°	0,09	24,13	1,03
Giove	778,3	5,20	11,86	4332,7	1,3°	0,05	13,06	0,41
Saturno	1429,4	9,54	29,46	10759,5	2,5°	0,06	9,66	0,45
Urano	2871,0	19,18	84,01	30685,0	0,8°	0,05	6,80	-0,72
Nettuno	4504,3	30,06	164,79	60190,0	1,8°	0,01	5,44	0,67
Plutone*	5913,5	39,44	247,70	90800,0	17,2°	0,25	4,74	-6,39

Tabella I: Parametri orbitali dei pianeti (* dal 2006 Plutone è stato declassato a pianeta nano, vedi oltre).

Anche una tabella, a prima vista così arida, può dare grandi spunti di riflessione (e permettere alla nostra fantasia di volare pur ... rimanendo legati alla realtà fisica, ne vedremo un'applicazione parlando di Mercurio). Se si assume, per esempio, che l'unica fonte di energia dei pianeti sia la luce solare, poiché la quantità di luce che arriva per unità di superficie è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del pianeta dal Sole, discende immediatamente che la temperatura media del pianeta deve ridursi drasticamente andando da Mercurio a Plutone.

In **tabella II** sono riassunti alcuni parametri fisici per gli oggetti di maggiori dimensioni del Sistema Solare . Si può notare che i pianeti non sono necessariamente gli oggetti più grandi del Sistema Solare. Ci sono due satelliti con raggio maggiore di Mercurio e ben sette più grandi di Plutone (dei satelliti ho inserito solo quelli più grandi). Per i pignoli ... gli oggetti del Sistema Solare non sono perfettamente sferici, per raggio intendo raggio equatoriale.

La massa è data in masse terrestri (cioè assumendo come unità di misura la massa della Terra), il motivo? i numeri sono molto grandi e la maniera *scientifica* di scriverli sarebbe usando la notazione ... scientifica, come un numero compreso tra 1 e 10 moltiplicato per 10 elevato ad una opportuna potenza (per intenderci 21000 in notazione scientifica si scrive come $2,1 \times 10^4$).

La massa della Terra che è di 5'980'000'000'000'000'000'000'000 Kg (cinque milioni novecentottantamila miliardi di miliardi, finalmente un numero più grande del nostro debito pubblico!) in notazione scientifica è $5,98 \times 10^{24}$... che concisione !! Per evitarvi la sfilza di cifre ho usato questa unità di misura (naturalmente se volete le masse in chilogrammi ... basta moltiplicare per la massa della Terra).

E' evidente che il 99,8% della massa del Sistema Solare (... della *materia*, dicendolo in maniera meno rigorosa) è concentrata sul Sole, la maggior parte del resto su Giove ... per gli altri meno delle briciole! Per **gravità** intendo accelerazione di gravità misurata in unità di accelerazione di gravità presente sulla superficie terrestre (che è di 9,86 metri al secondo per secondo). Ci servirà per alcuni degli interventi che si potranno fare in classe (peso sulla Luna e sui pianeti, altezza di un salto sulla Terra e sui diversi pianeti).

Nome	Raggio Km	Massa massa Terra	Gravità grav. terr.	T.S. °C	Press. atm.	Comp.Atm	Note
Sole	695000	332780	27,9	5500			gass.
Mercurio	2439	0,055	0,378	170	0		rocc.
Venere	6052	0,816	0,905	460	93	CO ₂ , N ₂	rocc.
Terra	6380	1,000	1,000	14	1	N₂, O₂	rocc.
Marte	3397	0,107	0,379	-55	0,007	CO ₂ , N ₂	rocc.
Giove	71492	317,7	2,529	-153		H ₂ , He	gass.
Saturno	60268	95,15	1,066	-185		H ₂ , He	gass.
Urano	25559	14,53	0,903	-214		H ₂ , He, CH ₄	gass.
Nettuno	24764	17,06	1,096	-225		H ₂ , He, CH ₄	gass.
Plutone	1170	0,002	0,069	-236	0,00001	N ₂ , CO, CH ₄	
Luna	1738	0,012	0,165	-70			Terra
Ganimede	2631	0,025	0,146				Giove
Callisto	2400	0,018	0,127				Giove
Io	1815	0,015	0,182				Giove
Europa	1569	0,008	0,134				Giove
Titano	2575	0,023	0,137				Saturno
Rea	765	0,004	0,029				Saturno
Iapeto	730	0,003	0,025				Saturno
Dione	560	0,002	0,023				Saturno
Titania	789	0,0006	0,038				Urano
Oberon	761	0,0005	0,035				Urano
Umbriel	585	0,0002	0,025				Urano
Ariel	579	0,0002	0,026				Urano
Tritone	1350	0,004	0,077				Nettuno
Caronte	630	0,0002	0,077				Plutone

Tabella II: Alcuni parametri fisici di componenti maggiori del Sistema Solare

Nella colonna *T. S.* è riportata la temperatura media superficiale in gradi centigradi. Naturalmente nelle regioni illuminate dal Sole (dove è *giorno*) la temperatura è più alta che nelle regioni in ombra (dove è *notte*), questa variazione è molto vistosa in corpi privi di atmosfera (su Mercurio o sulla Luna si verificano delle enormi escursioni termiche tra il giorno e la notte). Un discorso a parte merita l'*anomalia* di Venere (vedere i commenti



su Venere ... è un argomento che ci interessa molto direttamente!) che, sebbene sia a distanza dal Sole quasi doppia rispetto a Mercurio, ha una temperatura superficiale molto più alta.

In *Note*, per i pianeti è riportata la classificazione per composizione (*rocciosi* o terrestri i pianeti composti principalmente da rocce e metalli, con alte densità, lenta rotazione, superficie solida, senza anelli e con pochi satelliti; *gassosi* o gioviani i pianeti composti principalmente da idrogeno ed elio, con bassa densità, rapida rotazione, profonda atmosfera –ovvero strato di nubi- anelli e molti satelliti; Plutone è un caso a parte). Per i satelliti è riportato il pianeta intorno a cui orbitano.

Per i pianeti rocciosi è riportata (nella colonna *Press.*) la pressione atmosferica a livello del suolo in *atmosfera* (cioè la pressione media esercitata, a livello del mare, dall'atmosfera terrestre). Sulla superficie di Venere la pressione è grandissima: è equivalente alla pressione a cui è sottoposto un corpo immerso in mare ad una profondità di 920 metri (certamente gli usuali sommergibili non possono raggiungere tale profondità)! Nella colonna *Comp. Atm.* sono elencati i principali costituenti chimici dell'atmosfera.

Il Sole. E' il fulcro del Sistema Solare: una piccola, ordinaria stella gialla, una dei cento miliardi di stelle che popolano la nostra galassia, la *Via Lattea*. E' costituito completamente da materia allo stato gassoso (per il 75% da idrogeno ed il 25% da elio, tutti gli altri elementi ammontano solo allo 0,1%). La sua composizione chimica cambia lentamente nel tempo, convertendo l'idrogeno in elio nelle regioni centrali, dove la temperatura è di circa 15 milioni di gradi e la pressione di 250 miliardi di atmosfere (nel centro del Sole i gas sono così compressi che la loro densità è 150 volte quella dell'acqua). Gli strati esterni del Sole (non essendo la stella un corpo rigido) ruotano in maniera differenziale: all'equatore la superficie compie un giro completo in 25,4 giorni, vicino ai poli in circa 36 giorni. Il nucleo del Sole sembra invece ruotare come un corpo solido. Un simile comportamento lo si osserva anche nei pianeti gassosi.

Il Sole è la fonte di energia del Sistema Solare: 107 miliardi di miliardi di kilowattora fuoriescono ogni secondo dalla sua superficie sotto forma di particelle di luce (i *fotoni*). L'immensa centrale nucleare, costituita dal suo nucleo, ogni secondo trasforma 700 milioni di tonnellate di idrogeno in 695 milioni di tonnellate di elio. I restanti 5 milioni di tonnellate di materia sono convertiti completamente in energia (in raggi gamma, fotoni con energia molto più alta dei fotoni che costituiscono i raggi X). Sì ... avete capito bene! Ogni secondo la massa del Sole diminuisce di 5 milioni di tonnellate.

Dal nucleo del Sole, i fotoni gamma iniziano un lungo viaggio che li porterà, dopo circa 50 milioni di anni, a raggiungere la superficie del Sole e, quindi, ad emergere per illuminare e riscaldare il Sistema Solare. Durante questo viaggio i fotoni sono assorbiti e riemessi di continuo dal gas che è, andando dal centro verso la superficie, sempre più freddo (... si fa per dire, visto che la temperatura superficiale è di 5500 gradi). Questo fa sì che i fotoni gamma siano *degradati* in fotoni meno energetici (la maggior parte della luce che lascia la superficie del Sole è sotto forma di luce *visibile*, cioè fotoni a cui sono sensibili i nostri ricettori, gli occhi). Oltre alla luce, il Sole emette un basso flusso di particelle cariche (principalmente elettroni e protoni), noto come il *vento solare*, che si propaga nello spazio interplanetario ad una velocità di circa 450 Km/s. Quando sulla superficie solare avvengono violente esplosioni, i brillamenti (localizzati in regioni sedi di intensissimi campi magnetici ... le macchie sono regioni della superficie solare leggermente più fredde, circa 3300 gradi, in cui il campo magnetico ostacola il flusso di energia dalle zone sottostanti), un numero molto più elevato di particelle eiettate nello spazio *rafforzano* il vento solare dando luogo ad effetti vistosi sulla Terra: black-out



elettrici nelle regioni nordiche, interferenze nelle comunicazioni radio, perdita di quota dei satelliti artificiali (la parte alta dell'atmosfera, bombardata dal vento solare, si riscalda e si espande facendo aumentare le perdite di energia, per attrito, dei satelliti) e le fantastiche aurore boreali. Il vento solare è il responsabile della *coda* di ioni delle comete ed ha effetti rilevanti sulle traiettorie delle sonde interplanetarie.

Il numero di macchie solari presenti sulla superficie del Sole varia ciclicamente con un periodo di circa 11 anni: è il ciclo di *attività solare*. Attualmente (2007) siamo nella fase di discesa verso il minimo di attività solare del ciclo 23. Nel diciassettesimo secolo, il ciclo solare si è interrotto (il Sole è stato quasi completamente privo di macchie per circa settanta anni), il fenomeno è chiamato *Minimo di Maunder* ... stranamente è coinciso con un periodo di freddo anomalo nelle regioni europee, noto come *Piccola Era Glaciale*. Che sia solo una coincidenza o l'attività solare ha un suo ruolo nel riscaldamento globale dell'atmosfera terrestre?? Poco si è ricercato in questa direzione.

Da circa quattro miliardi e mezzo di anni il Sole utilizza, in modo tranquillo, l'idrogeno come combustibile nucleare. Continuerà in questa fase per altrettanto tempo. Poi l'idrogeno delle regioni centrali si esaurirà e la struttura del Sole subirà delle drastiche e drammatiche variazioni (normali nella vita di una stella di tale massa) che potrebbero portare alla totale distruzione della Terra.

Mercurio. E' il pianeta più vicino al Sole e l'ottavo come diametro (è più piccolo di Ganimede e Titano, satelliti di Giove). Essendo un pianeta interno all'orbita terrestre (insieme a Venere), visto dalla Terra presenta le *fasi*, come la Luna, ed è sempre prossimo al Sole. La sua distanza massima è di circa 23° da una parte o dall'altra del Sole ed è quindi visibile al massimo un'ora e mezzo prima dell'alba, quando precede il Sole nel verso di rotazione della Terra, o fino ad un'ora e mezza dopo il tramonto, quando segue il Sole. Si muove molto velocemente in cielo (rispetto alle stelle *fisse*), da cui forse il nome Mercurio, il messaggero degli dei.

Ha un'orbita molto *eccentrica* che lo porta da una distanza minima dal Sole di 46 milioni di chilometri ad una massima di circa 70 milioni. Il perielio (punto più vicino al Sole) della sua orbita ruota lentamente intorno al Sole (tecnicamente la *precessione del perielio*). Sebbene gli scostamenti del suo moto da quanto predetto dalla meccanica di Newton non fossero eccessivamente grandi, è stato il cruccio degli astronomi fino al 1916: cercavano il possibile pianeta (Vulcano) che ne alterasse il moto. La soluzione è stata ancora più drammatica: la teoria della Relatività Generale di Einstein. La sua corretta previsione del moto di Mercurio è stata una delle principali ragioni iniziali di accettazione della teoria.

Ruota lentamente intorno al suo asse, in due dei suoi *anni* vi sono tre dei suoi *giorni*. Questo fatto, unito alla forte eccentricità dell'orbita, produrrebbe degli strani effetti per un osservatore posto sulla sua superficie. In certe zone di Mercurio, il Sole sorge e diventa man mano più grande mentre si alza in cielo verso lo zenit e Mercurio si avvicina al perielio (tra afelio - il punto più lontano dal Sole - e perielio le dimensioni apparenti del Sole diventano una volta e mezza più grandi!); poi il Sole si ferma, inverte la sua corsa, poi si ferma di nuovo prima di riprendere il suo cammino verso l'orizzonte, rimpicciolendosi.

Non possiede atmosfera rilevabile: questo, assieme alla sua vicinanza al Sole, è la principale causa della più grossa escursione termica tra giorno-notte esistente nel Sistema Solare, tra 430 e -180 °C! E' stato visitato da una sola sonda spaziale (il Mariner 10) che, sorvolandolo tre volte tra il 1973 ed il 1974, ha potuto inviarci le immagini del 45% della sua superficie. E' molto simile alla Luna: una superficie molto vecchia e molto



craterizzata da impatti di meteoriti, non si ha evidenza di vulcanesimo recente. Cercate di portare il classe qualche immagine dettagliata di Mercurio e della Luna. Serviranno ad evidenziare le differenze tra i vari crateri d'impatto, oggetto di un possibile esperimento in classe. Ha un debolissimo campo magnetico pari a circa l'1% di quello terrestre. Non ha alcun satellite anche se una ventina di anni fa, per qualche giorno, ne è circolata l'ipotesi.

Venere. E' la "*stella*" più brillante in cielo (fino a 20 volte la stella più luminosa del cielo boreale, Sirio), da qui forse il suo nome in onore della dea della bellezza. Come Mercurio, presenta le fasi e si vede o prima del sorgere del Sole o dopo il tramonto (fino ad un massimo di 3 ore prima dell'alba o dopo il tramonto). Proprio l'osservazione delle fasi di Venere, da parte di Galileo, è stata un'importante evidenza a favore della teoria eliocentrica copernicana del Sistema Solare. La sua orbita è, tra le orbite dei pianeti, quella più prossima ad una circonferenza.

La prima sonda a raggiungere Venere fu il Mariner 2 nel 1962. Da allora è stata visitata una ventina di volte da sonde (la sovietica Venera 7 è stata la prima sonda ad atterrare - forse più correttamente *avvenerare* - su un altro pianeta). La rotazione di Venere è abbastanza inusuale: molto lenta (un *giorno* di Venere dura 243 giorni terrestri, più lungo di circa 19 giorni dell'anno di Venere) e retrograda (in direzione opposta al verso di percorrenza dell'orbita).

E' stato, a volte, considerato il pianeta gemello della Terra in quanto vi sono tra loro notevoli somiglianze:

- a) Venere è leggermente più piccola della Terra (il suo raggio è il 95% del raggio terrestre e la sua massa l'80% di quella terrestre);
- b) entrambe hanno pochi crateri d'impatto, il che è indice di superficie relativamente giovane;
- c) la loro densità e composizione chimica sono simili.

Per queste somiglianze si pensava che, sotto il suo denso strato di nubi, Venere presentasse condizioni compatibili con la vita. Ma l'analisi dettagliata dei dati inviati dalla varie sonde ha indicato un ambiente radicalmente differente dalla Terra.

Sulla superficie di Venere la pressione è di 93 atmosfere! Il 96% dell'atmosfera è costituita da anidride carbonica. Nubi di acido solforico formano strati di diversi chilometri. Forti venti (fino a 350 Km per ora) spazzano gli strati alti di queste nubi. Proprio l'anidride carbonica è la causa della sua elevata temperatura superficiale, un fenomeno ormai tristemente noto a molti terrestri: l'*effetto serra*. Essendo più lontana di Mercurio dal Sole, la sua temperatura dovrebbe essere più bassa di quella di Mercurio (la temperatura di Mercurio è di 170 gradi, quella di Venere, a parità di condizioni, dovrebbe essere di circa 125 gradi) invece è di circa 460 gradi, alta abbastanza da fondere il piombo! La luce del Sole, essendo principalmente costituita da fotoni visibili, penetra nell'atmosfera riscaldando il pianeta. Il pianeta, essendo a temperatura relativamente bassa, emette anch'esso luce, ma nell'infrarosso (i nostri occhi non sono sensibili ai fotoni infrarossi, lo è invece la nostra pelle ... tutti hanno avuto l'esperienza che avvicinandosi ad un focolare acceso od ad un ferro da stiro, cioè ad oggetti abbastanza freddi rispetto al Sole, si ha sulla pelle la sensazione di caldo ... sono i fotoni infrarossi). Le molecole di anidride carbonica, presenti nell'atmosfera di Venere, impediscono ai fotoni infrarossi di lasciare liberamente la superficie del pianeta. Conseguenze: l'energia entra sulla superficie del pianeta (la luce solare) e vi resta intrappolata ... la temperatura superficiale cresce fino a che si raggiunge un equilibrio tra l'energia entrante e quella uscente (i fotoni infrarossi emessi dal pianeta) che, a causa delle difficoltà costituite dall'anidride carbonica, è spostato verso alte temperature. Il bruciamento di combustibili



fossili al ritmo attuale farà raddoppiare il contenuto di anidride carbonica dell'atmosfera terrestre per i primi anni del 2000 ... Venere ci mostra le conseguenze! Venere non ha un suo campo magnetico, probabilmente a causa della rotazione troppo lenta. Non ha alcun satellite.

Terra. Questo pianeta ... dovrebbe esservi noto. Ha un solo satellite, la Luna. A metà del secolo scorso, il direttore dell'osservatorio di Tolosa, un certo Petit, sostenne l'esistenza di un altro satellite della Terra (e di cui calcolò accuratamente l'orbita!). Nessuno gli dette credito. La storia sarebbe finita lì se la notizia non fosse arrivata a Giulio Verne che la utilizzo in un suo romanzo (*Dalla Terra alla Luna*) ... potenza della letteratura di fantascienza, per oltre 50 anni gli astronomi dilettanti si scatenarono nella ricerca di questo secondo satellite! Nessun osservatorio istituzionale fu coinvolto in questa ricerca (o, almeno, se qualcuno lo ha fatto ... non ha avuto il coraggio di ammetterlo!).

Marte. E' il quarto pianeta dal Sole ed il settimo come dimensioni. E' ancora il pianeta prediletto da scrittori di fantascienza per ambientarci vita extraterrestre. Il tutto derivò dalla *scoperta* di *canali* che solcavano la superficie marziana, fatta nel 1878 dall'astronomo Giovanni Virgilio Schiaparelli, direttore dell'osservatorio di Brera (ne individuò ben 113). Sulla Terra i canali sono costruiti da umani ... su Marte certamente da intelligenti creature aliene. Già intorno al 1913, esperimenti sulla percezione di forme (usando per i test 200 scolari inglesi) avevano convinto molti che i *canali* di Marte altro non erano che illusioni ottiche ... ma è difficile frenare la fantasia eccitata. La storia è definitivamente conclusa per molti nel 1972, quando la sonda Mariner 9, orbitando intorno al pianeta, ci ha inviato migliaia di immagini della sua superficie. Neanche un canale ! (in realtà furono rilevati centinaia di crepacci, ma nessuno grande abbastanza da poter essere visto dalla Terra).

La sua orbita è significativamente ellittica tanto che, in pieno sole, la temperatura varia di circa 30 °C tra perielio ed afelio. Sebbene Marte sia molto più piccolo della Terra, la sua superficie eguaglia la superficie delle terre emerse sul nostro pianeta. Presenta strutture spettacolari:

- il Vulcano Olimpo, la più alta montagna del Sistema Solare , si innalza di 24 Km sulla piana circostante, la sua base ha un diametro di più di 500 Km
- la Piana di Ellas, un cratere d'impatto profondo 6 Km e largo 2000 Km
- l'altopiano Tarso, alto 10 Km e largo 4000 Km.

Vi sono chiare evidenze di erosione in numerose regioni di Marte (incluse piane alluvionali e sistemi di piccoli fiumi). Certamente nel passato vi era acqua sulla sua superficie! L'età dei canali d'erosione è stimata di circa 4 miliardi di anni. Ha una rarefatta atmosfera composta per il 95% da anidride carbonica ed il resto, da azoto ed argon; presenta anche tracce di ossigeno e acqua. Sebbene la pressione atmosferica sia bassissima (intorno al 7 per mille della pressione atmosferica terrestre), l'atmosfera è sufficiente a mantenere venti molto forti e tempeste di sabbia che interessano per mesi l'intero pianeta. La presenza di anidride carbonica rende attivo l'effetto serra, molto meno vistoso che su Venere (l'aumento temperatura è di circa un paio di gradi) a causa dell'esiguità dell'atmosfera.

Come la Terra, presenta ad entrambi i poli calotte gelate composte principalmente da anidride carbonica solida (il *ghiaccio secco*). Durante l'estate dell'emisfero nord, la calotta di ghiaccio secco sublima (passa direttamente dallo stato solido a gas) mettendo a nudo uno strato di ghiaccio d'acqua. Nell'emisfero sud, lo strato di ghiaccio secco non sublima totalmente, per cui non si sa se anche lì ci sia ghiaccio d'acqua. Probabilmente acqua gelata è



presente, al di sotto della superficie, anche a latitudini più basse. Possiede due piccolissimi satelliti, Deimos (6 Km di raggio) e Fobos (11 Km), entrambi scoperti da Hall nel 1877.

Giove. E' il quinto pianeta dal Sole, il più grande per raggio e massa (la sua massa è il doppio della massa di tutti gli altri pianeti messi insieme). Bisogna quindi riconoscere che il suo nome, il re degli dei, è appropriato. La scoperta da parte di Galileo, nel 1610, dei suoi quattro più grandi satelliti (Io, Europa, Ganimede e Callisto, noti come *satelliti galileiani o medicei*) è stata la prima evidenza di moto di oggetti celesti intorno ad un centro che non fosse la Terra e, quindi, il primo punto a favore della teoria eliocentrica copernicana del moto dei pianeti. Come tutti sanno ... Galileo ne pagò le conseguenze. E' stato visitato, per la prima volta, dal Pioneer 10 nel 1973 e poi dal Pioneer 11, Voyager 1, Voyager 2 ed Ulisse. La sonda Galileo è stato in orbita intorno al pianeta ed inviato dati per due anni. Una sonda atmosferica, sganciata dal Galileo, è penetrata nell'atmosfera di Giove ed ha fornito informazioni fino a 160 Km al di sotto dei primi strati di nubi.

I pianeti gassosi non hanno una superficie solida, il materiale gassoso, di cui sono costituiti, diventa via via più denso andando verso il centro del pianeta. Le immagini che ci inviano le sonde (o buoni telescopi a terra) mostrano solo lo strato superiore delle nubi alte nella loro atmosfera. Giove è costituito per circa il 75% da idrogeno ed il 25% da elio con tracce di metano, acqua, ammoniaca e polveri. Tale miscela è molto prossima alla composizione della primordiale *Nebulosa Solare* da cui ha tratto origine l'intero Sistema Solare. Saturno ha composizione simile, Urano e Nettuno hanno molto meno idrogeno ed elio (la loro minore gravità non è riuscita a trattenere completamente gli atomi più leggeri).

Giove ha, probabilmente, un piccolo nucleo roccioso (10-15 volte la massa della Terra) sul quale poggia il resto del pianeta sotto forma di *idrogeno liquido metallico*, una miscela ionizzata di elettroni e protoni a causa dell'immane pressione (simile a quando accade nel Sole, ma nel caso solare le altissime temperature lo mantengono gassoso). Tale miscela è un ottimo conduttore elettrico che, con l'alta velocità di rotazione, mantiene un immenso campo magnetico (Saturno mostra un simile comportamento). La *magnetosfera* di Giove si estende per oltre 650 milioni di chilometri. I satelliti di Giove sono immersi nella sua magnetosfera e questo può spiegare l'intensa attività vulcanica riscontrata su Io. L'ambiente intorno a Giove presenta una elevatissima concentrazione di particelle energetiche, intrappolate dal suo campo magnetico, che costituiscono un serio problema per le sonde spaziali (un fenomeno simile, ma enormemente meno vistoso, lo si osserva nella magnetosfera terrestre ... le famose fasce di Van Allen).

L'atmosfera di Giove, come quella degli altri pianeti gassosi, è continuamente interessata da fortissimi venti (fino a 650 Km/h) confinati in bande distribuite quasi a marcare i paralleli del pianeta. In bande adiacenti i venti soffiano in direzioni opposte formando dei complessi vortici sui bordi delle bande. Leggere differenze nella composizione chimica e nella temperatura delle bande formano la struttura a strisce colorate del pianeta. Alcuni dei vortici persistono per lunghi tempi. La famosa *grande macchia rossa* è un enorme uragano (un'ellisse di 12000 per 25000 chilometri, grande abbastanza da contenere più di due volte la Terra) che dura da almeno 300 anni.

Giove, come Saturno e Nettuno, emette nello spazio più energia di quanto ne riceva dal Sole. Il suo interno è caldo (probabilmente intorno ai 20000 gradi). Il meccanismo di generazione di energia è la lenta *compressione gravitazionale* (è energia *gravitazionale*, come quella di rocce che cadono da una montagna ... qui tutto il pianeta si contrae lentamente, provate a gonfiare le ruote di una bicicletta, basta *comprimere* un paio di volte la



pompa per farla riscaldare, solo che in tale caso il riscaldamento è fatto utilizzando l'energia delle nostre braccia). Ha tre *anelli* più piccoli e più scuri di quelli di Saturno, probabilmente costituiti da polveri e piccoli sassi. Di satelliti se ne conoscono attualmente 67, i quattro grandi galileiani ed altri molto più piccoli. Hanno tutti nomi di personaggi mitologici collegati a Giove (per la maggior parte, di donne a cui ha rivolto il suo interesse).

Saturno. E' il sesto pianeta dal Sole ed il secondo come dimensioni. Galileo fu il primo ad osservarlo con un telescopio nel 1610; notò qualcosa di strano ma bisognò attendere il 1659 (Christian Huygens) per avere la prima descrizione di quello che è diventato il suo segno di riconoscimento: gli anelli. Gli anelli di Saturno sono stati gli unici noti fino al 1977 quando deboli anelli furono scoperti intorno ad Urano e, poco dopo, intorno a Giove e Nettuno. Saturno è visibilmente schiacciato ai poli (oblato): il suo diametro equatoriale è di 120536 Km mentre il polare è di 108728. E' questo il risultato della sua rapida rotazione e dello stato fluido. Anche gli altri pianeti gassosi sono oblati ma non in modo così vistoso. E' il meno denso dei pianeti, circa 0,7 volte la densità dell'acqua (... avendo a disposizione una *opportuna* piscina galleggerebbe bene).

Presenta le stesse caratteristiche di Giove, la struttura atmosferica a bande colorate è, però, molto meno pronunciata. Ha un numero incredibile di anelli. Tre di essi sono visibili da telescopi a terra: i due più larghi (chiamati A e B) ed uno un po' più debole (C). La separazione tra gli anelli A e B è nota come *divisione di Cassini*. Sebbene visti dalla Terra appaiano continui, gli anelli sono composti da piccole particelle ognuna sulla propria orbita. Le dimensioni delle *particelle* vanno da meno di un centimetro a diversi metri. Sono composte principalmente di ghiacci con intrusioni di polveri e sassi. E' accertata la presenza di oltre sessanta satelliti.

Urano. E' il settimo pianeta dal Sole ed il terzo per diametro (ha, però, massa inferiore a quella di Nettuno). Urano è stato il primo pianeta scoperto in epoca moderna, nella notte del 13 marzo 1781 dal grande astronomo William Herschel. Lo chiamò *Georgium Sidus*, il pianeta di Giorgio (in onore del suo ... sponsor, si direbbe ora, il re Giorgio III d'Inghilterra). Il nome Urano fu proposto da Bode (quello della ... legge Titius-Bode) in conformità ai nomi degli altri pianeti, nome universalmente accettato solo a partire dal 1850. Al contrario degli altri pianeti che hanno l'asse di rotazione più o meno perpendicolare al piano dell'orbita (Nettuno ha l'asse che devia maggiormente dalla perpendicolare, circa 28 gradi e mezzo, la deviazione dell'asse della Terra è 23 gradi e mezzo - a ciò è dovuto il ciclo delle stagioni -) Urano ruota intorno ad un asse posto nel piano dell'eclittica. Questo porta all'inusuale fenomeno che le sue regioni polari ricevono più energia dal Sole di quelle equatoriali. Nonostante ciò, le regioni equatoriali sono più calde di quelle polari ... uno dei tanti (per ora) misteri di Urano! La sua rotazione è retrograda, come quella di Venere e Plutone.

Rispetto a Giove e Saturno, è molto meno ricco di idrogeno (solo il 15%) ed elio. E' questo conseguenza solo della minore gravità o gioca un ruolo l'enorme distanza dal Sole? Perché non irraggia più energia di quanto ne riceva dal Sole come tutti gli altri pianeti gassosi? (... vi avevo preannunciato i *tanti* misteri!).

Così lontano da Sole (e dalla Terra), la struttura a bande di nuvole è debolmente visibile. Il colore predominante è il blu, come risultato dell'assorbimento della luce rossa causato dall'alto contenuto di metano della sua atmosfera (ne costituisce il 2%). Urano presenta anomalie anche nel campo magnetico: l'asse nord-sud magnetico è inclinato di quasi 60 gradi rispetto all'asse di rotazione. Possiede un sistema di anelli (se ne conoscono 11) molto poco luminosi. Oltre a 5 grandi satelliti già noti (i due più grandi scoperti dal solito Herschel nel 1787), la sonda spaziale Voyager 2, l'unica sinora a visitarlo, ne ha scoperti altri 10 piccoli (con

raggio dai 12 ai 77 Km). Una particolarità: i satelliti di Urano, invece degli usuali nomi della mitologia classica, portano nomi di personaggi delle opere di Shakespeare e Pope.

Nettuno. E' l'ottavo pianeta dal Sole ed il quarto come raggio (ha massa più grande di Urano). Fu scoperto nel settembre del 1846 da Galle e d'Arrest, prossimo alla posizione prevista, indipendentemente, dallo studente inglese Adams e dall'accademico francese Le Verrier sulla base degli scostamenti dell'orbita di Urano da quanto predetto dalla meccanica di Newton. Le successive osservazioni dell'orbita di Nettuno hanno mostrato che essa si allontanava rapidamente dall'orbita prevista da Adams e Le Verrier: se lo avessero ricercato pochi anni prima o dopo, non lo avrebbero trovato nella posizione calcolata.

Quasi tutte le informazioni fisiche su Nettuno derivano dalle osservazioni effettuate dalla sonda Voyager 2, nell'agosto del 1986. Poiché l'orbita di Plutone è talmente eccentrica da intersecare l'orbita di Nettuno, dal 1979 al 1999 Nettuno è stato il pianeta più distante dal Sole. La composizione chimica di Nettuno è, probabilmente, molto simile a quella di Urano. Al contrario di esso, si comporta come gli altri pianeti gassosi: irraggia più energia di quanta ne riceva dal Sole. Come per Urano, la sua colorazione blu è dovuta all'alto contenuto di metano della atmosfera. Fortissimi venti (fino a 2000 Km/h !), confinati in bande, formano enormi vortici ed uragani. Possiede un sistema di 4 anelli (uno dei quali misteriosamente attorcigliato) di composizione ancora sconosciuta: il primo è chiamato Adams, il terzo Le Verrier ed il quarto Galle. Di Nettuno sono noti 13 satelliti, Tritone ed altri dodici molto più piccoli.

Plutone. E' l'ultimo *pianeta* scoperto nel Sistema Solare , il più piccolo e, tranne che per brevi periodi (vedere quanto detto a proposito di Nettuno), il più lontano dal Sole. Avvolto nelle tenebre, tra numerose proposte, gli fu assegnato il nome del dio dell'aldilà della mitologia classica.

Fu scoperto per una fortunata combinazione nel 1930. Calcoli (che poi si sono dimostrati errati) basati sul moto di Urano e Nettuno predicevano un pianeta oltre Nettuno. L'astronomo americano Tombaugh, che non era a conoscenza dell'errore, effettuò una accurata ricerca osservativa che portò, comunque, alla sua scoperta.

Possiede un satellite relativamente grande (rispetto al pianeta), Caronte. E' perfettamente nota la somma delle masse di Caronte e Plutone, non altrettanto bene le masse individuali. Già da tempo, nella comunità astronomica, c'era chi sosteneva che Plutone doveva essere classificato come asteroide o cometa piuttosto che come pianeta. Il 24 agosto del 2006, all'assemblea generale dell'IAU (Unione Astronomica Internazionale) tenutasi a Praga, è passata a larghissima maggioranza degli astronomi una nuova definizione di pianeta, per cui Plutone è stato *declassato* a pianeta nano.

La sua temperatura superficiale non è ben determinata, probabilmente è tra i -228 ed i -238 gradi centigradi. Non molto nota è la composizione chimica come pure la struttura della estremamente rarefatta atmosfera (probabilmente azoto, ossido di carbonio e metano). L'atmosfera di Plutone può esistere allo stato gassoso solo quando esso è prossimo al suo perielio: negli altri periodi del suo lunghissimo anno i gas atmosferici condensano in ghiaccio. Forse, vicino al perielio, parte della sua atmosfera si disperde nello spazio anche a causa dell'interazione con Caronte. Il 19 gennaio 2006 una sonda spaziale, chiamata New Horizons, è stata lanciata verso il sistema Plutone-Caronte che incontrerà nel luglio 2015 per poi proseguire verso gli oggetti della cintura di Kuiper.

I Corpi Minori. Oltre ai pianeti ed i loro satelliti, il Sistema Solare contiene un numero enorme di corpi più piccoli. Vi sono migliaia di asteroidi e comete conosciute, molto più numerosi sono quelli ancora da scoprire. La distinzione tra asteroidi e comete è molto controversa: si chiamano comete gli oggetti costituiti da materiale



più volatile (quando si avvicinano al Sole *degassano* formando la chioma o *coma*, da cui il nome) e con orbite fortemente ellittiche. Molti asteroidi orbitano tra Marte e Giove, la *fascia degli asteroidi*; vi sono molti oggetti che appartengono alla fascia di Kuiper (una regione a forma di disco, posta oltre Nettuno tra 30 e 100 Unità Astronomiche dal Sole, contenente numerosissimi piccoli corpi ghiacciati) di difficile classificazione in questo schema.

Molti piccolissimi corpi rocciosi, chiamati *meteoroidi* per distinguerli dai molto più grossi asteroidi, orbitano intorno al Sole. Sono i massimi responsabili della craterizzazione dei pianeti e dei satelliti. Quando penetrano nell'atmosfera terrestre diventano incandescenti per attrito e lasciano una scia luminosa (sono dette *meteore* o molto più comunemente *stelle cadenti* – quelle degli inconfessabili desideri d'agosto). I minuscoli frammenti che sopravvivono fino a raggiungere la superficie terrestre sono detti *meteoriti*. Milioni di meteoroidi penetrano ogni giorno nell'atmosfera (ammontano a centinaia di tonnellate di materiale). Quando le dimensioni dei bolidi sono un po' più grosse (e, per fortuna, sono molto rari) producono enormi esplosioni, crateri e ... l'estinzione dei dinosauri.

L'ultimo di tali eventi si è verificato al mattino del 30 giugno 1908. Una incredibile esplosione scosse la valle del fiume Tunguska, in Siberia a 800 chilometri a nord-ovest del lago Baikal. Testimoni descrivono un'enorme palla di fuoco visibile in cielo per alcuni secondi. Altri testimoni, a 60 Km dal luogo dell'impatto, riferiscono di essere stati sbattuti a terra dall'onda d'urto. Per ragioni di instabilità politica dell'area, non fu organizzata alcuna spedizione scientifica. La prima spedizione che raggiunse il luogo dell'esplosione, nel 1927, strabiliò il mondo con la notizia dell'assenza di un cratere d'impatto. Tuttavia, come mostrano le foto d'epoca, in un'area di 30-40 Km di diametro, tutti gli alberi furono abbattuti con i tronchi allineati in direzione radiale rispetto al centro dell'esplosione. Si formò l'idea che il bolide fosse un pezzo ghiacciato di nucleo cometario (presumibilmente parte della cometa Encke) di circa 40 metri esploso prima di raggiungere il suolo. La potenza dell'esplosione, che produsse onde sismiche rilevate in tutto il globo, è stimata equivalente a quella di una bomba termonucleare da 12 megatoni.

Possibili interventi in classe

La realizzazione di piccoli esperimenti, che a noi adulti possono sembrare troppo banali (perché completamente parte integrante del nostro bagaglio di esperienza quotidiana), ha per i ragazzi un enorme valore educativo e formativo. Un piccolo sforzo di fantasia e ... pochissima spesa, saranno ampiamente ripagati dalla crescita dall'interesse della scolaresca. Nelle pagine seguenti vi sono solo alcuni dei possibili interventi. Vi assicuro che se ne possono organizzare moltissimi (per esempio, basta una lampadina da 100 Watt avvicinata ed allontanata ad un ragazzo ad occhi chiusi per fargli comprendere a fondo il perché pianeti a diversa distanza dal Sole hanno diversa temperatura; una palla ed una torcia elettrica in una classe oscurata ... valgono più di decine di illustrazioni e commenti per far capire il perché delle fasi lunari).

Quanto si può saltare su un altro pianeta?

A questa domanda si può rispondere utilizzando:

- *Materiale*: Una riga graduata, carta e penna
- *Concetti*: Gravità, massa, peso
- *Modello*: Chiedere ai ragazzi di saltare il più alto possibile. E' questo un esempio di quanto una persona può saltare su un pianeta (la Terra).

- *Osservazione*: Far mantenere verticale una riga graduata (attenti a che tocchi terra!) da un alunno. Chiedere ad un altro di saltare il più alto possibile, mentre un terzo, inginocchiato ed opportunamente posizionato, legge l'altezza del salto. Far ripetere alcune volte, in modo da rendere chiaro che l'altezza raggiunta dipende sia dalla gravità che dalla *spinta* che si esercita.
- *Calcolo*: Dopo che i ragazzi hanno determinato l'altezza dei loro salti, chiedere loro di determinare quanto possono saltare su altri corpi del Sistema Solare, utilizzando la colonna *Gravità* della tabella II (dividere per i rispettivi valori in quanto l'altezza del salto è inversamente proporzionale alla gravità superficiale) o, in modo più semplice (ma più approssimato) secondo la seguente procedura:

Oggetto	Procedura di calcolo dell'altezza
Sole	dividere per 28
Mercurio	moltiplicare per 5 e dividere per 2
Venere	moltiplicare per 10 e dividere per 9
Marte	moltiplicare per 5 e dividere per 2
Giove	moltiplicare per 2 e dividere per 5
Saturno	moltiplicare per 7 e dividere per 8
Urano	moltiplicare per 11 e dividere per 10
Nettuno	moltiplicare per 9 e dividere per 10
Plutone	moltiplicare per 15
Luna	moltiplicare per 6

Tabella III: Relazione tra l'altezza del salto sulla Terra ed altezza del salto su un altro corpo del Sistema Solare

La gravità superficiale di una stella, pianeta, satellite dipende dalla sua massa (per intenderci ... la quantità di materia) e dal suo raggio. Il raggio è un fattore importante perché la gravità di un oggetto agisce come se la sua *sorgente* fosse al centro dell'oggetto ed, inoltre, la gravità diminuisce con la distanza (per esempio, se due pianeti hanno la stessa massa e raggio diverso, la gravità sarà più alta sul pianeta di raggio più piccolo).

Far riflettere su come possano essere diversi alcuni sport se giocati su altri pianeti (calcio, pallacanestro, pallavolo, ginnastica). Su alcuni piccoli satelliti, i ragazzi potrebbero mettere ... in orbita delle palline. Cogliere l'occasione di precisare che sui pianeti gassosi, l'esercizio sarebbe solo ipotetico ... non c'è superficie solida!

Gli alunni saranno sorpresi dal fatto che la gravità solare non sia poi così alta, sebbene il Sole tenga legato a se tutto il Sistema Solare (ricordare la dipendenza dalla distanza dal centro dell'oggetto, che in questo caso è di 700 mila chilometri).

La stessa procedura di calcolo può essere utilizzata per determinare il proprio peso su altri pianeti (attenzione, il peso cresce proporzionalmente alla gravità superficiale e quindi il valore del peso sulla Terra va moltiplicato per il valore dato nella colonna *Gravità* di tabella II; volendo utilizzare la procedura approssimata della tabella precedente, *moltiplicare* va sostituito con dividere e *dividere* con moltiplicare, quindi per il Sole moltiplicare per 28, per Mercurio dividere per 5 e moltiplicare per 2 etc.).

Modello in scala del Sistema Solare. Le dimensioni dei pianeti e le loro distanze dal Sole sono talmente diverse tra loro ... da rendere impossibile una completa rappresentazione in scala all'interno della classe (ed anche della scuola). Ne volete una prova? se per rappresentare il Sole utilizziamo un pompelmo (≈ 15 cm. di diametro), Giove avrebbe le dimensioni di una pallina da ping pong, Saturno quella di una nocciola, Urano e

Nettuno quella dei ribes (frutti di bosco), la Terra e Venere quelle delle di due chicchi di riso, Marte avrebbe la dimensione di quei confettini colorati per la decorazione delle torte (mi sembra che si chiamino *sementine*, comunque meno di 1 mm. di diametro), Mercurio quella di un granello di sabbia. In questa scala, la distanza di Mercurio dal Sole sarebbe di 4 metri (incominciamo ad avvicinarci alle dimensioni dell'aula), Venere sarebbe a 11 metri dal Sole, la Terra sarebbe posizionata a 15 metri, Marte a circa 20 metri dal Sole, Giove a 75 metri, Saturno a 150 metri, Urano a 300 metri, Nettuno a 450 metri ed, infine, Plutone a 600 metri!!! Per realizzare tale modello ... un campo di calcio è insufficiente; potrebbe essere una buona proposta da associare ad una gita scolastica e realizzare durante la pausa per il picnic su un vasto prato (ricordarsi di preparare il materiale e delle bandierine con i nomi da posizionare a fianco ai singoli pianeti).

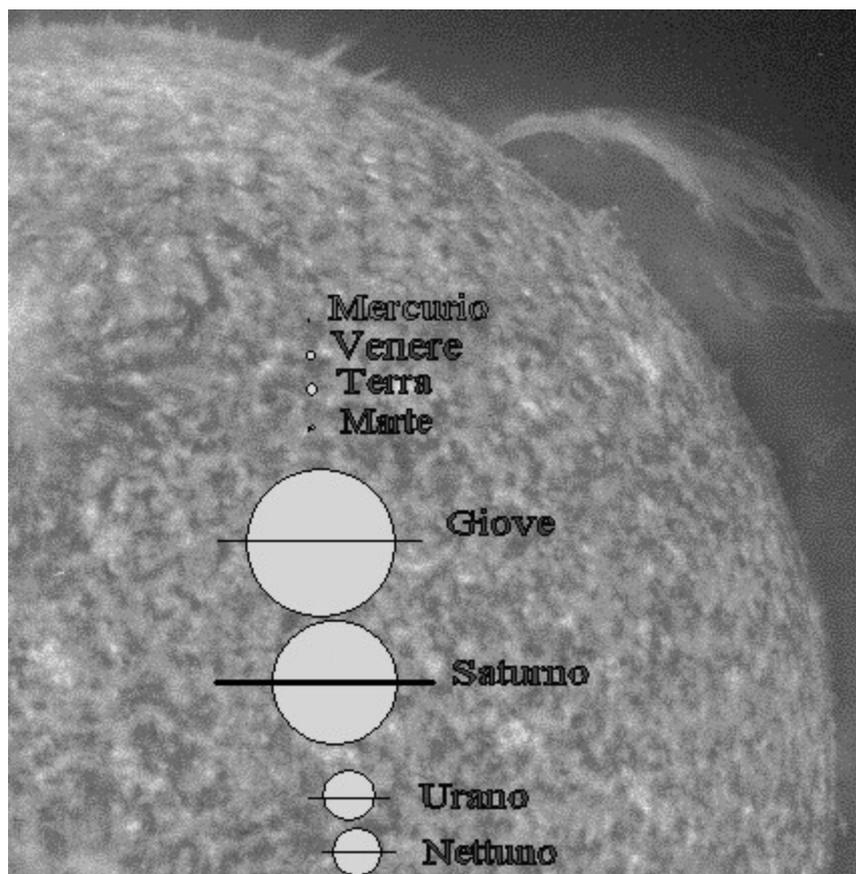


Figura 1: Modello in scala dei pianeti del Sistema Solare

E', comunque, un buon esempio da utilizzare (sostituendo alla misura in metri le distanze tra punti di riferimento che i ragazzi incontrano venendo a scuola -edicola, distributore di benzina, cancello della scuola, porta dell'aula, cattedra ecc.-) per mettere in evidenza che il Sistema Solare è essenzialmente *vuoto* (ancora più vuoto è lo spazio interstellare ed ancora di più quello intergalattico!). In classe occorre separare nettamente il modello in scala delle distanze da quello delle dimensioni dei pianeti, rappresentandoli su due pareti distinte dell'aula.

Modello in scala delle distanze del Sistema Solare: Occupa un'intera parete; per evitare gli sporcare, utilizzare un modulo di carta continua per calcolatore. La lunghezza dell'intera parete sarà la distanza Plutone-Sole (il Sole in un angolo e Plutone nell'altro), supponendo che l'aula sia lunga 5 metri (altrimenti scalare in



proporzione), Mercurio sarà posizionato a 5 cm. dal Sole, Venere a 9,1 cm., la Terra a 12,6 cm., Marte a 19,3 cm., Giove a 65,8 cm., Saturno a 120,8 cm., Urano a 2,43 metri, Nettuno a 3,81 metri. I pianeti saranno individuati con delle frecce recante il nome, solo il Sole potrà essere rappresentato da una freccia indicante un punto da 1 mm di dimensione (incollare una *sementina* gialla).

Modello in scala dei pianeti: Lo si può rappresentare su un pannello da 1 metro per 1 metro (come molto, schematicamente, è rappresentato in figura 1, per Plutone, Mercurio e Marte la larghezza del tratto utilizzato falsa un po' le dimensioni). Del Sole si traccia solo un quarto di cerchio (con raggio di 1 metro) e centro nell'angolo in basso a sinistra. Mercurio, in questa scala, ha diametro di 8 mm., Venere di 18 mm., la Terra di 18 mm., Marte di 10 mm, Giove di 20,6 cm., Saturno 17,4 cm., Urano 7,4 cm., Nettuno 7,2 cm., Plutone 4 mm. Utilizzando immagini dei pianeti, si può cercare di riprodurli rispettando i colori e la struttura superficiale. Nel colorarli se ne possono discutere le proprietà. Il quarto di cerchio del disco solare può essere completato disegnando delle *macchie solari* (le loro dimensioni possono raggiungere i 50000 Km, quasi quanto il raggio di Saturno) e alcuni grossi archi di *protuberanze* sul lembo del Sole.

Come individuare la forma della Terra. I nostri ragazzi crescono in un mondo dove le immagini della Terra, riprese da satelliti, mostrano chiaramente la sua forma sferica. Tali immagini sono così comuni che gli alunni neanche prendono in considerazione che il loro orizzonte, localmente *piatto*, possa suggerire che la Terra sia piatta. L'esperienza proposta mostra come i nostri progenitori, tramite osservazioni e ragionamenti deduttivi, siano giunti all'idea della sfericità della Terra. Chiedete loro di calarsi nei panni di ragazzi pre-satelliti artificiali e cercare prove della sfericità della Terra.

- **Materiale:** Un pallone di almeno 30 cm di diametro (con una ciotola come base di appoggio), una carta (piatta) del mondo, alcuni chiodi uguali, a testa larga lunghi 4-5 cm, un numero equivalente di cartoncini rigidi quadrati 3 cm.×3 cm., nastro adesivo, righello, una giornata assolata.
- **Concetti:** Propagazione in linea retta della luce.
- **Preparazione:** Infilare i chiodi al centro dei cartoncini (uno per cartoncino), col nastro adesivo coprire la testa dei chiodi in modo che non possano fuoriuscire dal cartoncino. Portare in cortile tutto il materiale. Distendere la mappa al sole e posizionare i chiodi in punti diversi della mappa ed in punti diversi del pallone (fissandoli con il nastro adesivo).
- **Osservazione:** Fare misurare la lunghezza delle ombre dei chiodi sulla mappa e sul pallone; sulla mappa le ombre sono tutte uguali, sul pallone la lunghezza delle ombre varia con la posizione del chiodo.
- **Modello:** Una Terra piatta deve presentare, in tutti i punti della sua superficie e nello stesso istante, ombre uguali per bastoncini di ugual altezza. Una Terra sferica presenta, nello stesso istante, ombre diverse per bastoncini uguali posizionati in punti diversi.
- **Verifica:** La sfericità della Terra può essere verificata mettendosi d'accordo con scuole di altre città italiane (più sono lontane e più è evidente il risultato, si consiglia di collegarsi con classi ad almeno 500 km di distanza); fissare la lunghezza dell'asta verticale (uguale per tutte le scuole che vi partecipano, comunque almeno un paio di metri d'altezza) e, tramite contatto telefonico, misurare contemporaneamente la lunghezza dell'ombra e scambiarsi le misure.