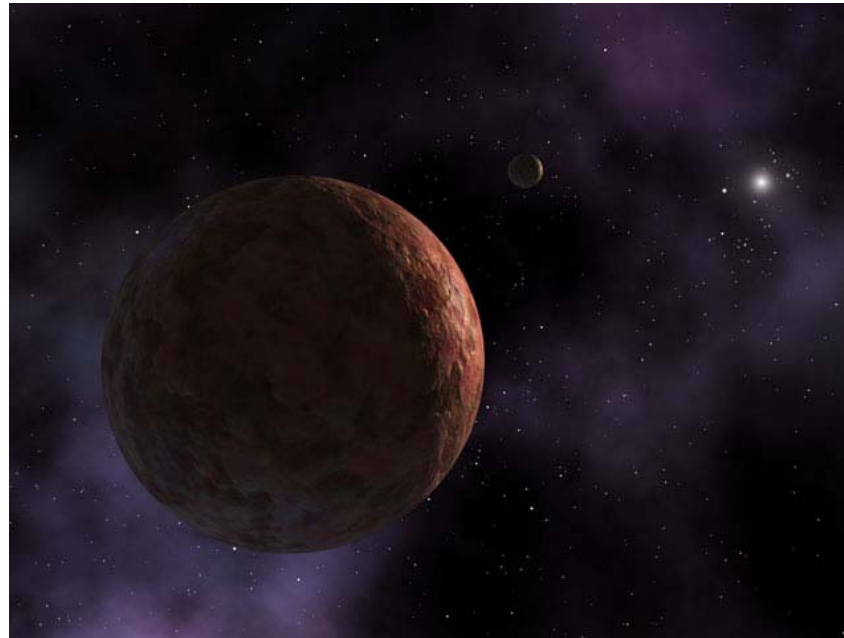
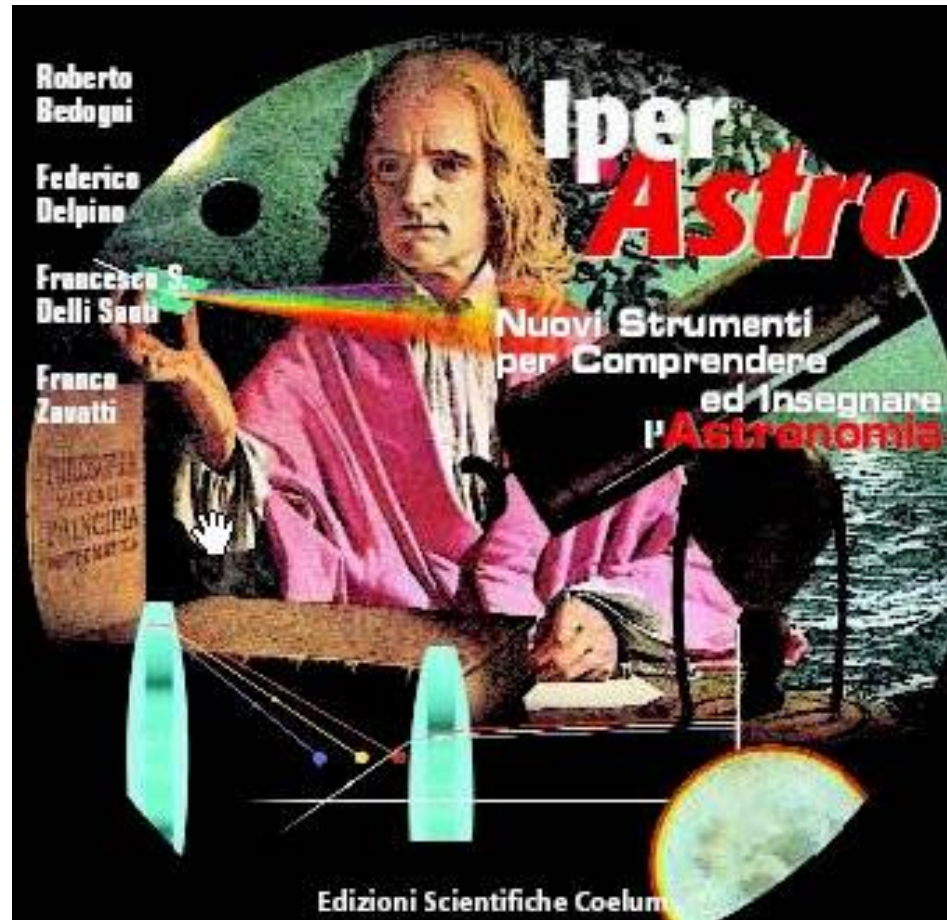


Esiste il decimo pianeta?



2 Febbraio 2006 Conferenza della Specola
Roberto Bedogni

INAF Osservatorio Astronomico di Bologna
via Ranzani, 1 40127 - Bologna - Italia
Tel, 051-2095721 Fax, 051-2095700



Il materiale di questa presentazione è stato tratto da:

IperAstro *un ipertesto di astronomia*

L'Ipertesto è prenotabile c/o la rivista COELUM scrivere all'indirizzo

e-mail: iperastro@coelum.com

*Telefonare dalle 9:30 alle 12:30 allo 041,532,14,76 o contattare la
pagina web <http://www.coelum.com>*

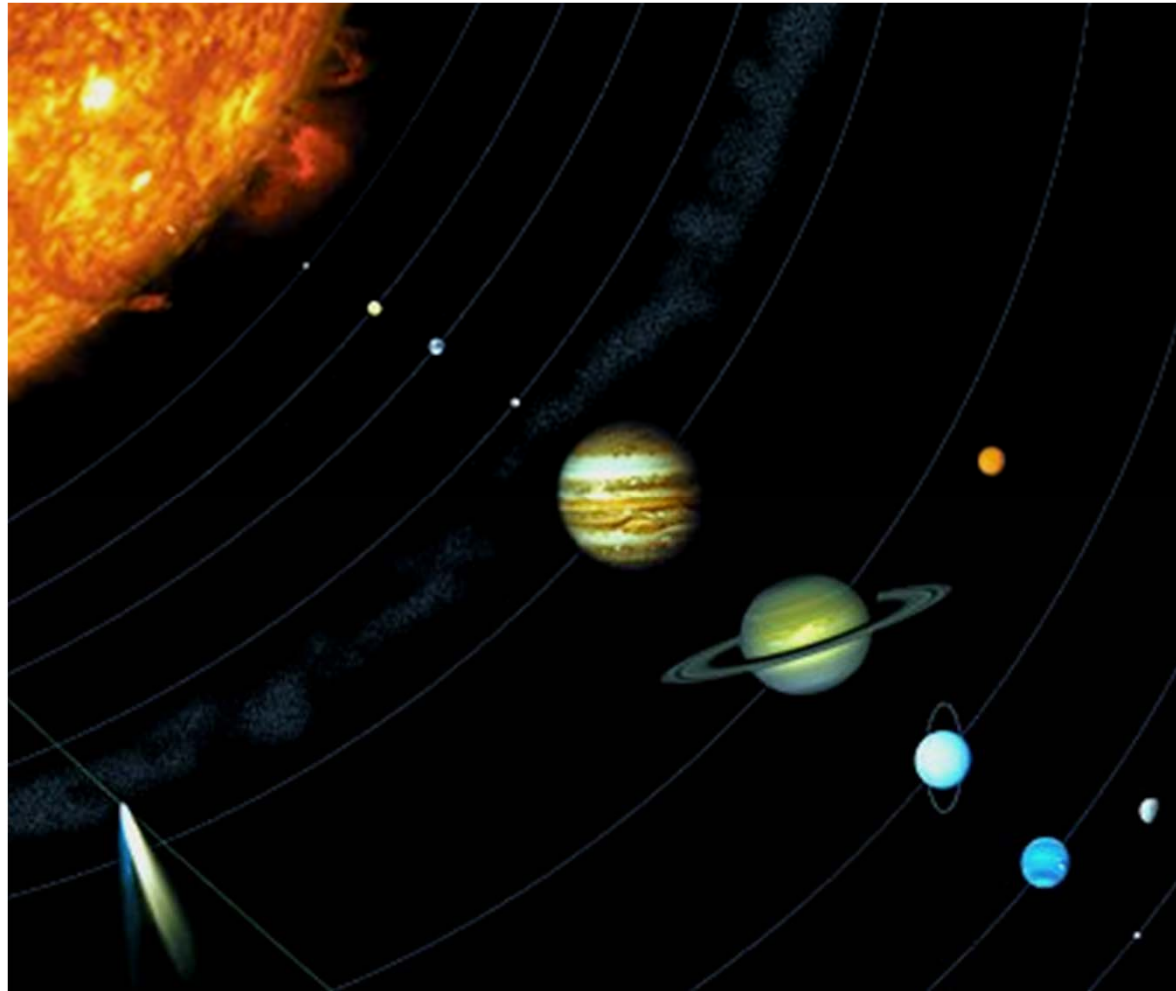
La scoperta annunciata su Nature. Il nome provvisorio ispirato all'eroina di una serie tv

Ecco Xena, il decimo pianeta “È più grande di Plutone”



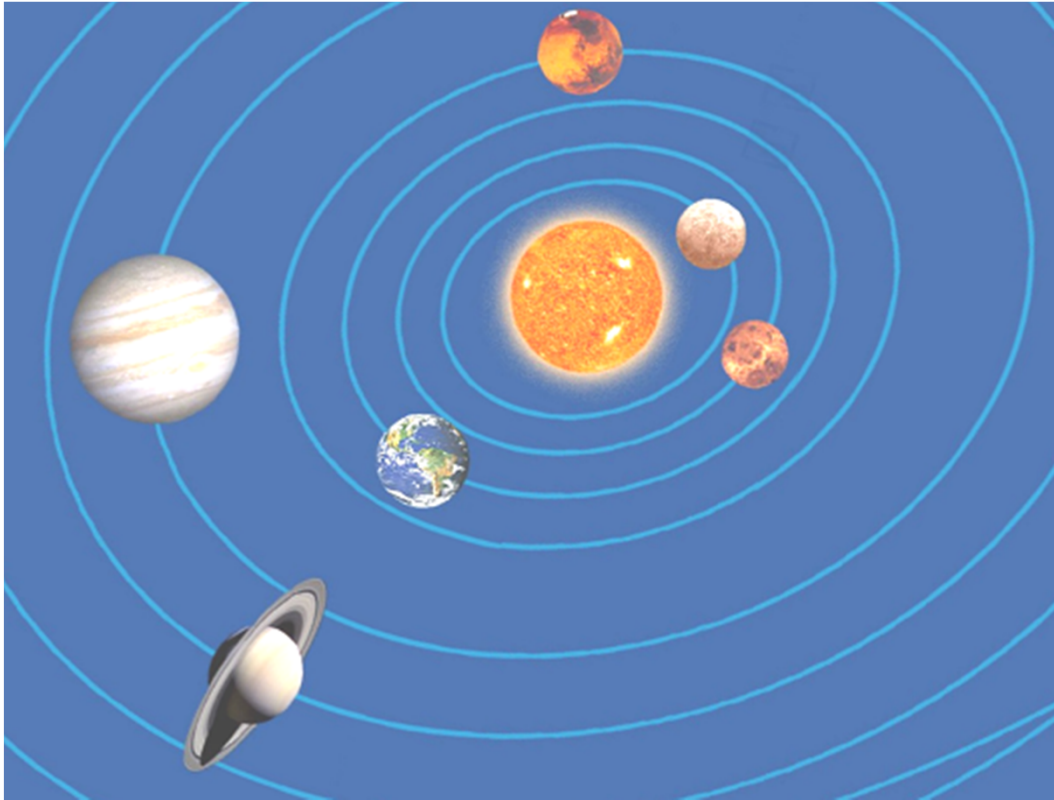
Roberto Bedogni

Il Sistema solare



Il Sistema solare è il "giardino di casa" del pianeta, la Terra, su cui viviamo.

Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno



| | m_v |
|----------|-------|
| Mercurio | -0,2 |
| Venere | -4,2 |
| Terra | --- |
| Marte | -2 |
| Giove | -2,5 |
| Saturno | -0,7 |
| Urano | +5,5 |
| Nettuno | +7,9 |
| Plutone | +15,2 |
| Sirio | 0,0 |

I cinque pianeti più vicini alla Terra sono anche quelli noti sin dall'antichità, data la loro elevata luminosità apparente.

Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove e Saturno

| ---- | Sole | Mercurio | Venere | Terra | Marte | Giove | Saturno |
|--------------------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------|-----------|-------------|-------------|
| Distanza (U.A.) | --- | 0,39 | 0,72 | 1 | 1,52 | 5,2 | 9,58 |
| Periodo rivoluzione (anni) | --- | 0,241 | 0,615 | 1 | 1,88 | 11,86 | 29,5 |
| Periodo rivoluzione (giorni) | --- | 87,969 | 224,701 | 365,256 | 686,980 | 4332,71 | 10759,5 |
| Periodo rotazione (giorni) | 27 | 58,27 | -243,2 | 1 | 1,03 | 0,41 | 0,43 |
| Periodo rotazione (ore) | 646,11 | 1394,4 | -5819,7 | 23,93 | 24,62 | 9,84 | 10,23 |
| Inclinazione orbita | --- | 7 | 3,394 | 0 | 1,850 | 1,308 | 2,488 |
| Eccentricità | --- | 0,2056 | 0,0068 | 0,0167 | 0,0934 | 0,0483 | 0,0560 |
| Numero satelliti | 9 | 0 | 0 | 1 | 2 | 16 | 18 |
| Magnitudine visuale apparente | -26,8 | -0,2 | -4,2 | --- | -2 | -2,5 | -0,7 |

La scoperta dei pianeti esterni Urano e Nettuno



I due pianeti esterni, **Urano** e **Nettuno**, sono stati scoperti in epoca storica,

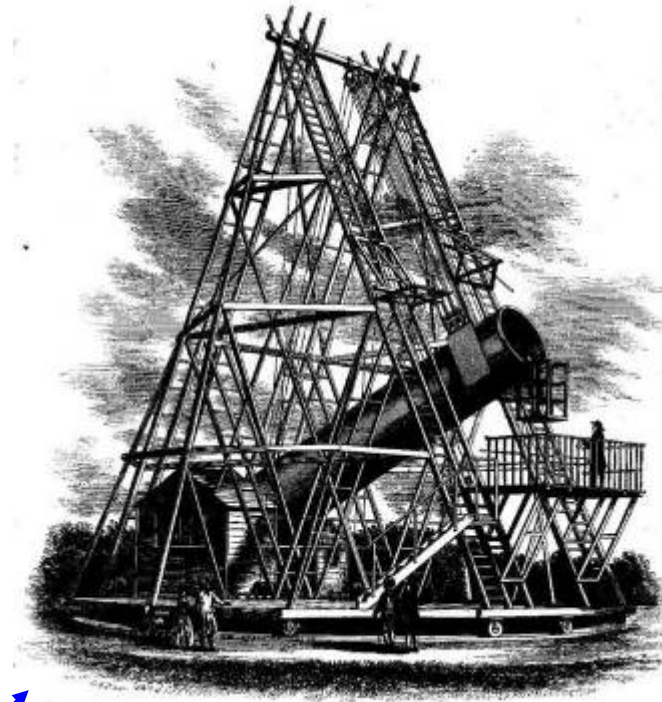
1. Utilizzando nuovi e più potenti telescopi (**Urano**)
2. Prevedendo la sua posizione in base ai calcoli matematici (**Nettuno**)

Urano, Nettuno e Plutone

| ---- | Terra | Urano | Nettuno | Plutone |
|--------------------------------------|--------|-------------|------------|-------------|
| Distanza (U.A.) | 1 | 19,14 | 30,19 | 39,5 |
| Periodo rivoluzione (anni) | 1 | 83,70 | 164,7 | 247,7 |
| Periodo rotazione (giorni) | 1 | -0,718 | 0,672 | -6,39 |
| Inclinazione orbita | 0 | 0,774 | 1,774 | 17,15 |
| Eccentricità | 0,0167 | 0,0461 | 0,0097 | 0,2482 |
| Numero satelliti | 1 | 27 | 13 | 3 |
| Magnitudine visuale apparente | ---- | 5,50 | 7,9 | 15,2 |

La scoperta di Urano

L'astronomo
Herschel
scopritore di
Urano



Urano è il primo pianeta scoperto con moderni strumenti di osservazione. Fu trovato casualmente da Herschel il 17 marzo 1781 che utilizzò un telescopio riflettore con uno specchio di 120 cm di diametro, costruito personalmente dall'astronomo inglese.

La conferma della scoperta di Urano

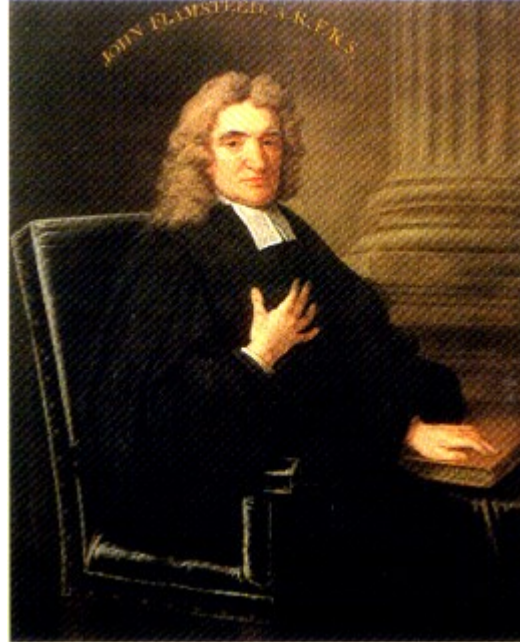
L'astronomo
A. Lexell che
calcolò l'orbita
di Urano



Herschel era alla ricerca di stelle doppie ed una notte gli apparve un astro la cui immagine si presentava in forma di disco. L'aspetto del corpo celeste lo incuriosì ed interessò al problema **Lexell** per comprendere se si trattava di una cometa. **Lexell un anno ne dopo** ricostruì l'orbita (quasi circolare attorno al Sole) e mostrò che non poteva che trattarsi di un pianeta.

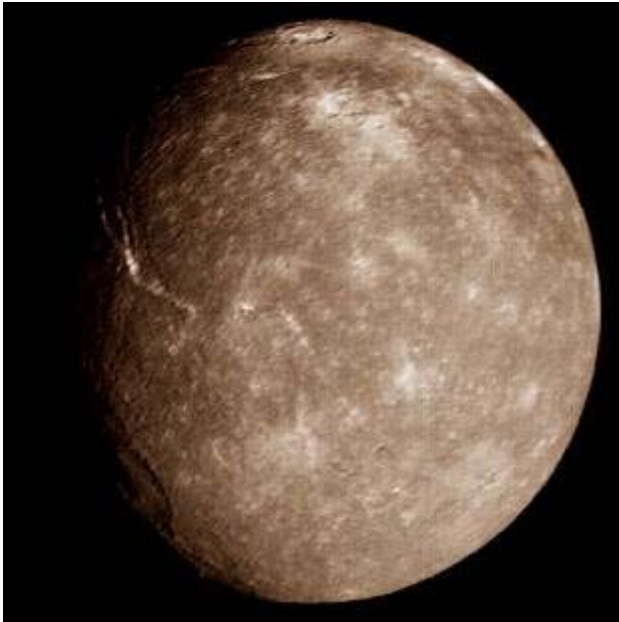
Urano, il "Pianeta Georgiano"

John Flamsteed
(1646 - 1719)

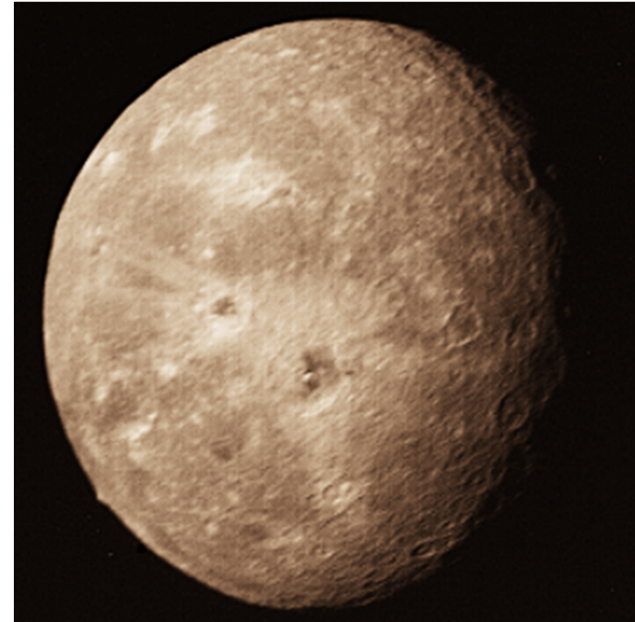


Era il primo pianeta essere scoperto in tempi storici, **Herschel** lo dedicò al re d'Inghilterra Giorgio III, per cui venne inizialmente denominato "*Pianeta Georgiano*". In seguito l'astronomo **Bode** propose il nome mitologico di Urano che fu unanimemente accettato ed entrò nell'uso comune dopo il 1850, Si riconobbe poi che già **Flamsteed** lo aveva osservato nel 1690 e catalogato come la stella "34 Tauri".

I satelliti di Urano

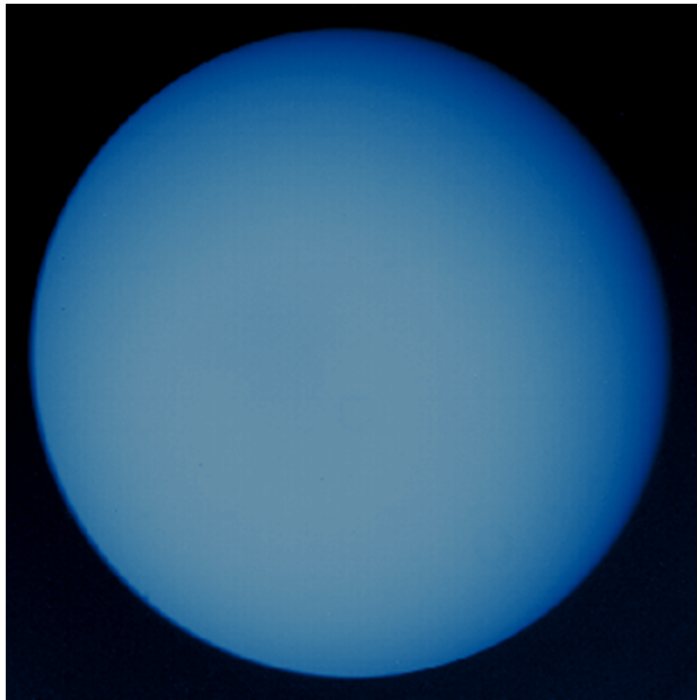


Titania ed
Oberon
osservati dal
Voyager



La scoperta (sempre da parte di **Herschel**) di due satelliti di Urano, **Titania ed Oberon**, tolse ogni dubbio al fatto che si trattasse effettivamente di un pianeta e permise di misurarne la massa (15 volte quella terrestre), la densità ($1,5 \text{ g/cm}^3$) e la gravità superficiale ($3/4$ che sulla Terra).

Parametri orbitali e fisici di Urano



Distanza dal Sole (U,A,) = 19,19

Distanza dal Sole (km) = 2 870 990 000

Periodo di rivoluzione (anni) = 84,01

Eccentricità = 0,0461

Inclinazione rispetto all'eclittica = 0° 46'

Velocità orbitale media (km/sec) = 6,80

Massa (Terra = 1) = 14,531

Raggio equatoriale (km) = 25 559

Raggio equatoriale (Terra = 1) = 4,007

Densità media (Terra = 1) = 0,23

Accelerazione di gravità (Terra = 1) = 0,79

Velocità di fuga (km/sec) = 21,3

Periodo di rotazione = 17^h 12^m

Inclinazione sul piano dell'orbita = 97,86°

Albedo = 0,51

Magnitudine visuale = 5,52

Numero satelliti finora noti = 27

L'atmosfera di Urano

| | |
|-------------------------------|---|
| Pressione superficiale | » 1000 bars |
| Temperatura ad 1 bar | -197 C |
| Temperatura ad 0,1 bar | -220 C |
| Densità superficiale ad 1 bar | ~ 0,42 kg/m ³ |
| Velocità dei venti | 0-200 m/s |
| Altezza di scala | 27,7 km |
| Peso molecolare medio | 2,64 gr/mole |
| Composizione | H ₂ 82,5 (± 3,3) %, He 15,2 (± 3,3) % CH ₄ 2,3 |
| Aerosol | Ammoniaca ghiacciata, ghiaccio |

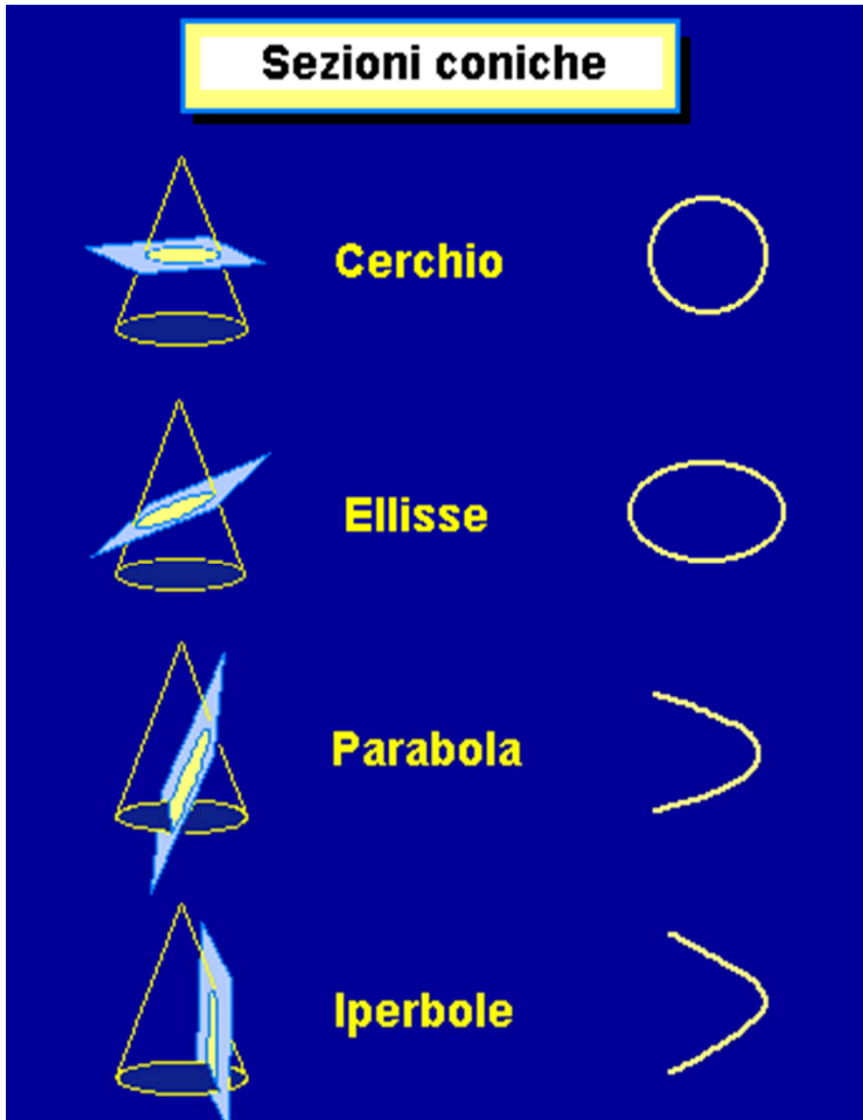
Le leggi di Keplero



L'astronomo **J, Keplero** nel XVII^{esimo} secolo formulò le leggi, ancora oggi note con il suo nome, riguardanti il moto dei pianeti,

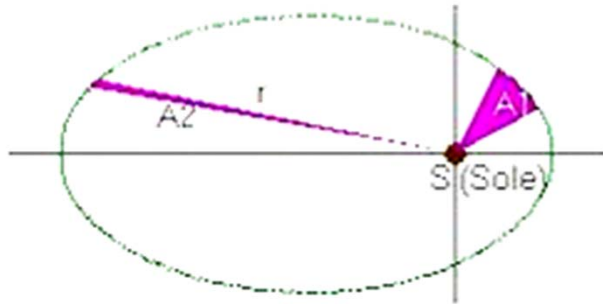
- 1^a legge di Keplero:* i pianeti si muovono su orbite ellittiche con il Sole in uno dei due fuochi
- 2^a legge di Keplero:* il "raggio vettore" percorre aree uguali in tempi di percorrenza uguali
- 3^a legge di Keplero:* i quadrati dei tempi di rivoluzione sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle rispettive orbite

La 1^a legge di Keplero



- *1^a legge di Keplero*: i pianeti si muovono su orbite ellittiche con il Sole in uno dei due fuochi,

La 2^a e la 3^a legge di Keplero



A1 = A2 = area spazzata dal raggio vettore r nello stesso intervallo di tempo t

2^a legge di Keplero: il "raggio vettore" che congiunge la posizione del pianeta al Sole, percorre, sulla sua orbita ellittica, aree uguali in tempi di percorrenza uguali

3^a legge di Keplero:

$$P^2 = k a^3$$

Con la terza legge di Keplero diventa possibile calcolare la distanza a di un pianeta dal Sole, sconosciuta nell'astronomia tolemaica determinato che sia il periodo di rivoluzione P in anni. Se i periodi di rivoluzione si misurano in anni ed i semiassi maggiori delle orbite planetarie in unità del semiasse maggiore dell'orbita terrestre, l' *Unità Astronomica (U.A.)*, si ha $k = 1$

Le leggi della dinamica di Newton

- **La prima legge della dinamica**
Ciascun corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, salvo che sia costretto a mutare quello stato da forze esterne
- **La seconda legge della dinamica** Ogni corpo possiede un'inerzia, espressa dalla sua massa m , che si oppone alle forze F che tendono ad alterare il suo stato dinamico ed a fornirgli una accelerazione a tale per cui:
$$F = m \cdot a$$
- **La terza legge della dinamica**
Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria

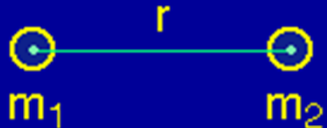


La legge di gravitazione universale di Newton



- Nel XVII^{esimo} secolo **I. Newton** scoprì la legge di gravitazione universale che regola non solo i moti dei pianeti intorno al Sole ma quello di tutti i corpi (anche le stelle e le galassie) dotati di massa nell'intero Universo.

La legge di gravitazione universale

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$


F_g = forza di gravitazione
 m_1 m_2 = masse dei due oggetti
 r = separazione tra i due oggetti
 G = costante di gravitazione universale

Nel 1684 **Newton** fu in grado di enunciare la legge di gravitazione universale: *due punti materiali qualsiasi si attraggono lungo la loro congiungente con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza.*

In formula, dette m_1 ed m_2 le *masse gravitazionali* dei due corpi, r la loro distanza ed F_g la forza agente, si ha:

$$F_g = G(m_1 m_2)/r^2$$

dove G è la costante di gravitazione,
Si noti che la potenza di r è =2
(campo di forza "centrale").

La "forza peso"



The diagram shows a large blue circle representing Earth, labeled "Terra" with mass M . A smaller red circle representing an object of mass m is positioned on the surface of the Earth. A red arrow labeled r points from the center of the Earth to the center of the object.

$$\text{Peso} = F_g = G \frac{Mm}{r^2} = mg$$

M = massa della Terra
 m = massa dell' oggetto
 r = raggio della Terra
 g = accelerazione di gravità terrestre

La 3^a legge di Keplero alla luce della gravità Newtoniana

Dalla legge di gravitazione universale:

$$F_g = G(m_p m_s) / r^2$$

E dalla seconda legge della dinamica di Newton :

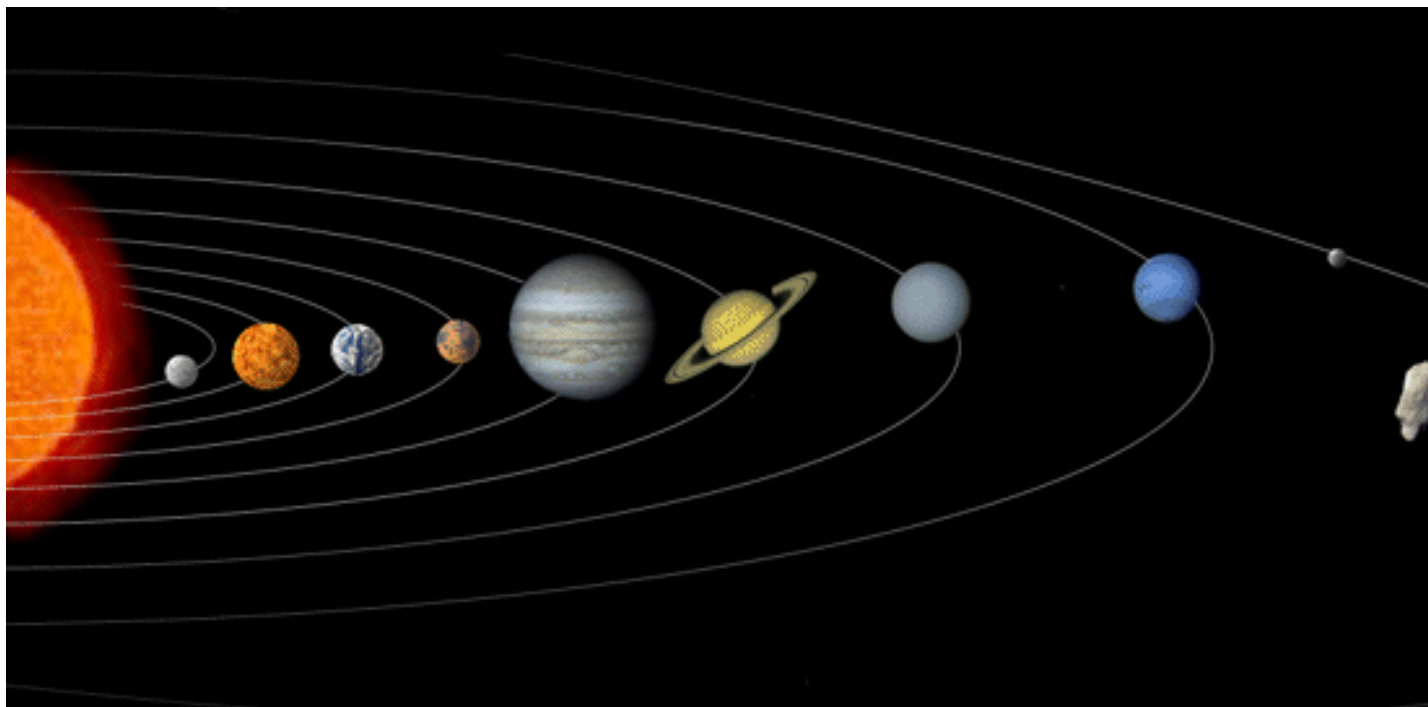
$$F = m a$$

Si ricava la terza legge di Keplero nella forma :

$$P^2(m_p m_s) = K a^3$$

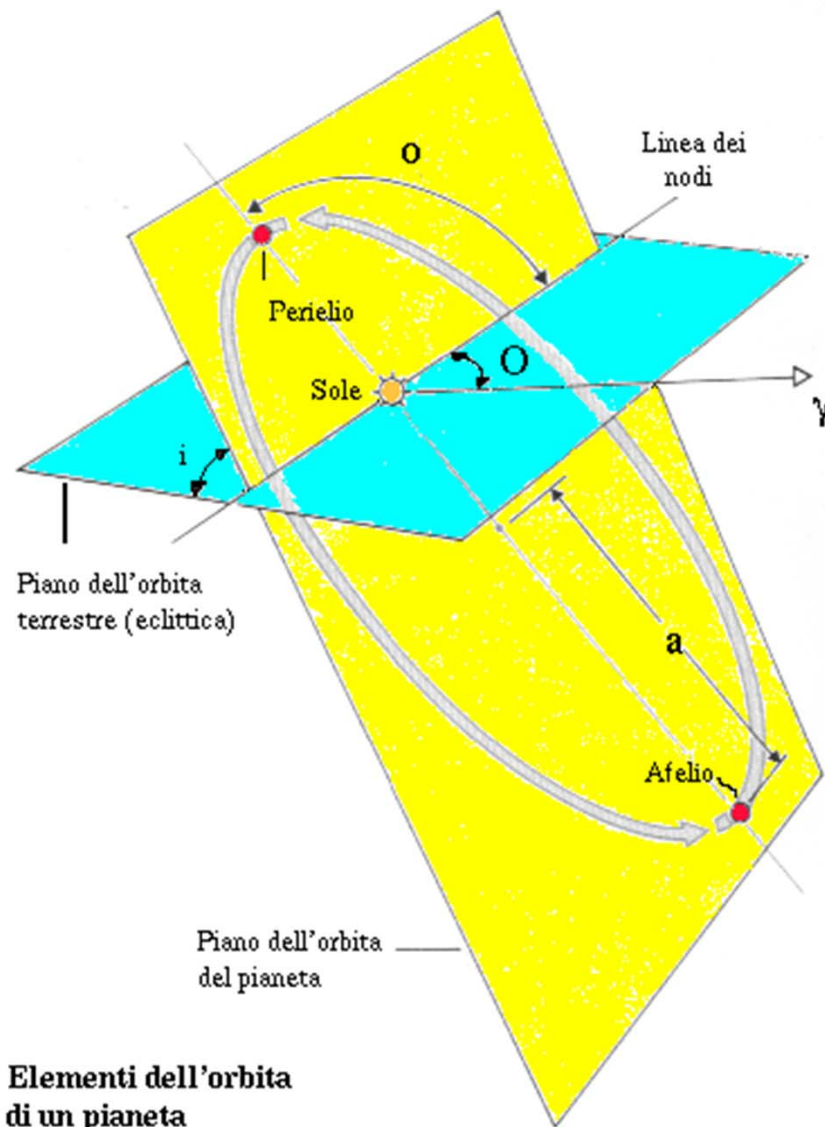
con m_p =massa pianeta m_s =massa Sole e $K=4\pi^2/G$
(G =costante di gravitazione universale)

La meccanica celeste



- Quando si studia la **meccanica del moto dei corpi del Sistema solare**, i corpi che ruotano attorno al Sole sono considerati punti geometrici dotati di massa.

Gli elementi orbitali

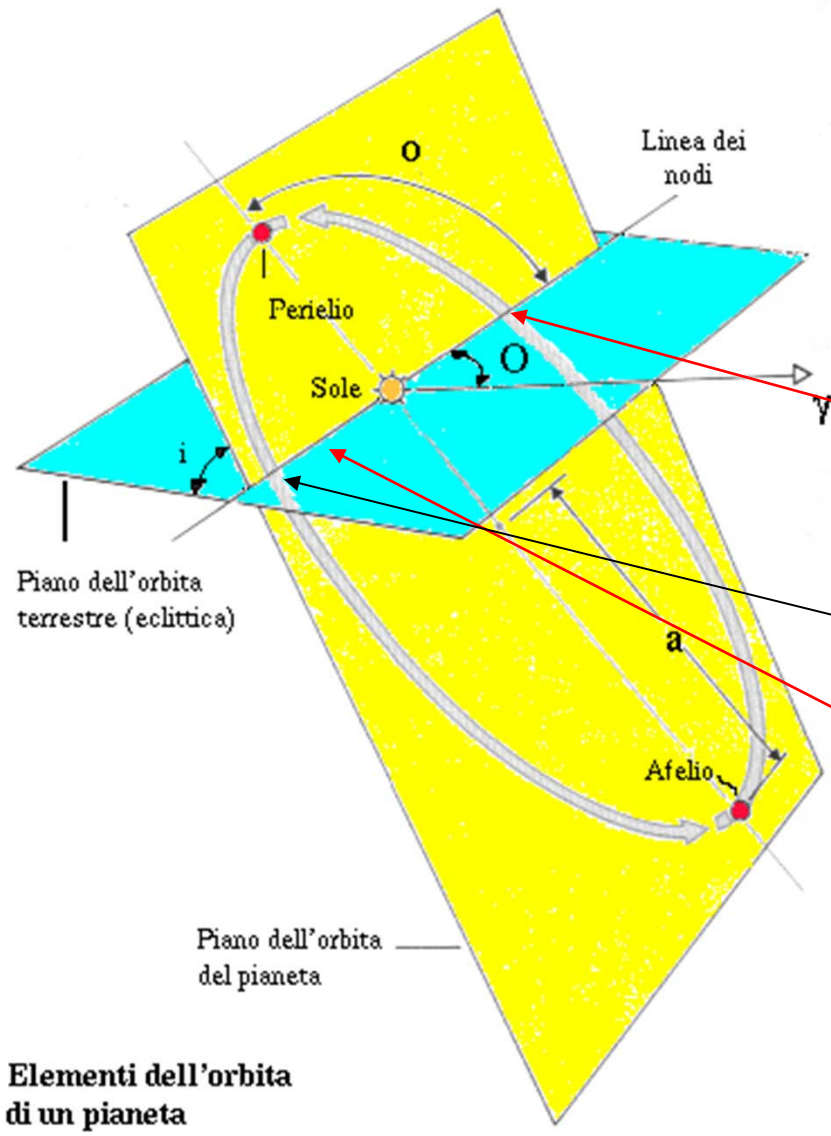


Elementi dell'orbita di un pianeta

Per descrivere in modo completo l'orbita di un pianeta attorno al Sole bisogna avere:

1. la definizione del piano dell'orbita
2. l'orientazione dell'orbita
3. la forma dell'orbita
4. gli elementi meccanici del moto

Gli elementi orbitali-nodi



Le orbite sono descritte rispetto ad un **piano di riferimento**,
Per i pianeti questo è il piano dell'orbita terrestre (**l'eclittica**); per i satelliti è il piano che contiene l'equatore dei rispettivi pianeti,

I due punti in cui l'orbita interseca il piano di riferimento sono detti **nodi**, Il **nodo ascendente** è definito dal passaggio da posizioni al di sotto del piano di riferimento (negative) a posizioni al di sopra del piano di riferimento (positive), Il **nodo discendente** è definito, al contrario, come il punto di passaggio da posizioni positive a posizioni negative, La linea che congiunge i nodi è detta **linea dei nodi**,

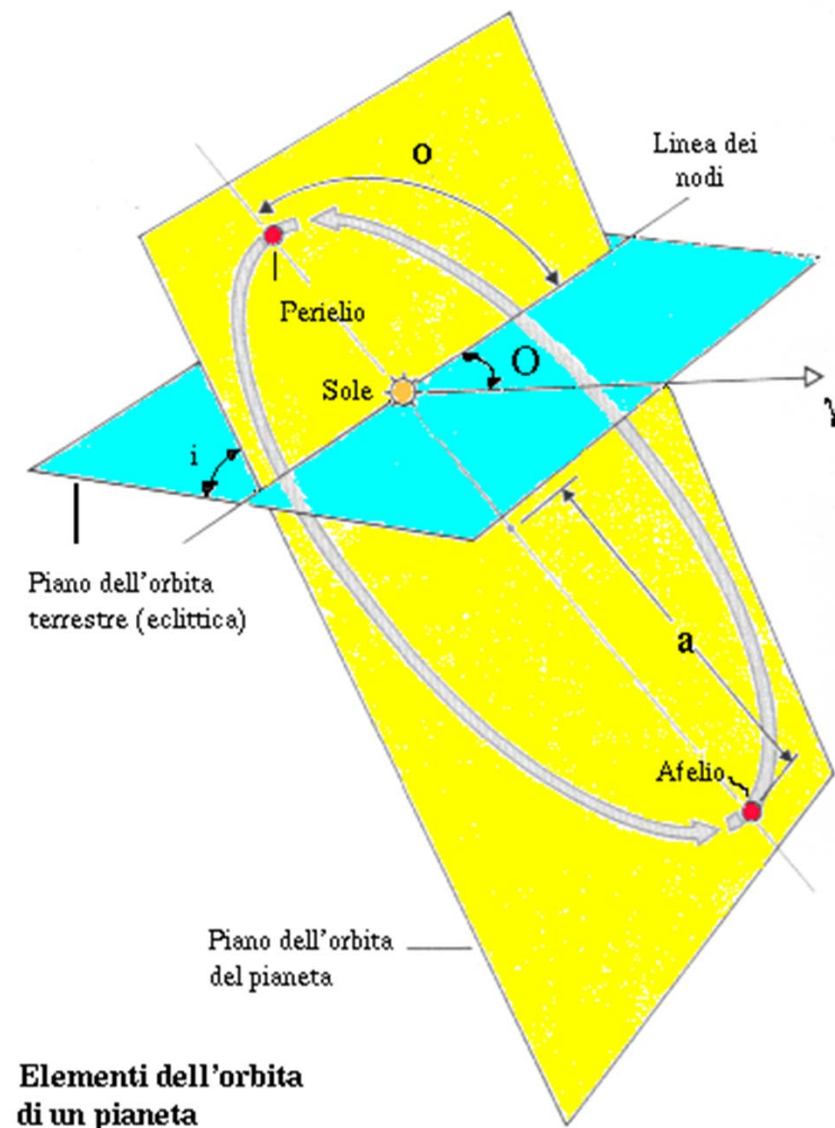
Elementi dell'orbita di un pianeta

Gli elementi orbitali

I 6 elementi orbitali, necessari a definire un'orbita, sono:

1. il semiasse maggiore a
2. l'eccentricità e
3. l'inclinazione i
4. la longitudine del nodo ascendente O
5. la distanza angolare tra perielio e nodo è ω
6. l'istante T del passaggio al perielio

Per individuare un'orbita sono necessarie almeno 3 osservazioni che fissino 3 coppie di valori (3 coordinate nel sistema eclitticale). Con questi dati è possibile trovare i sei elementi orbitali, incogniti.

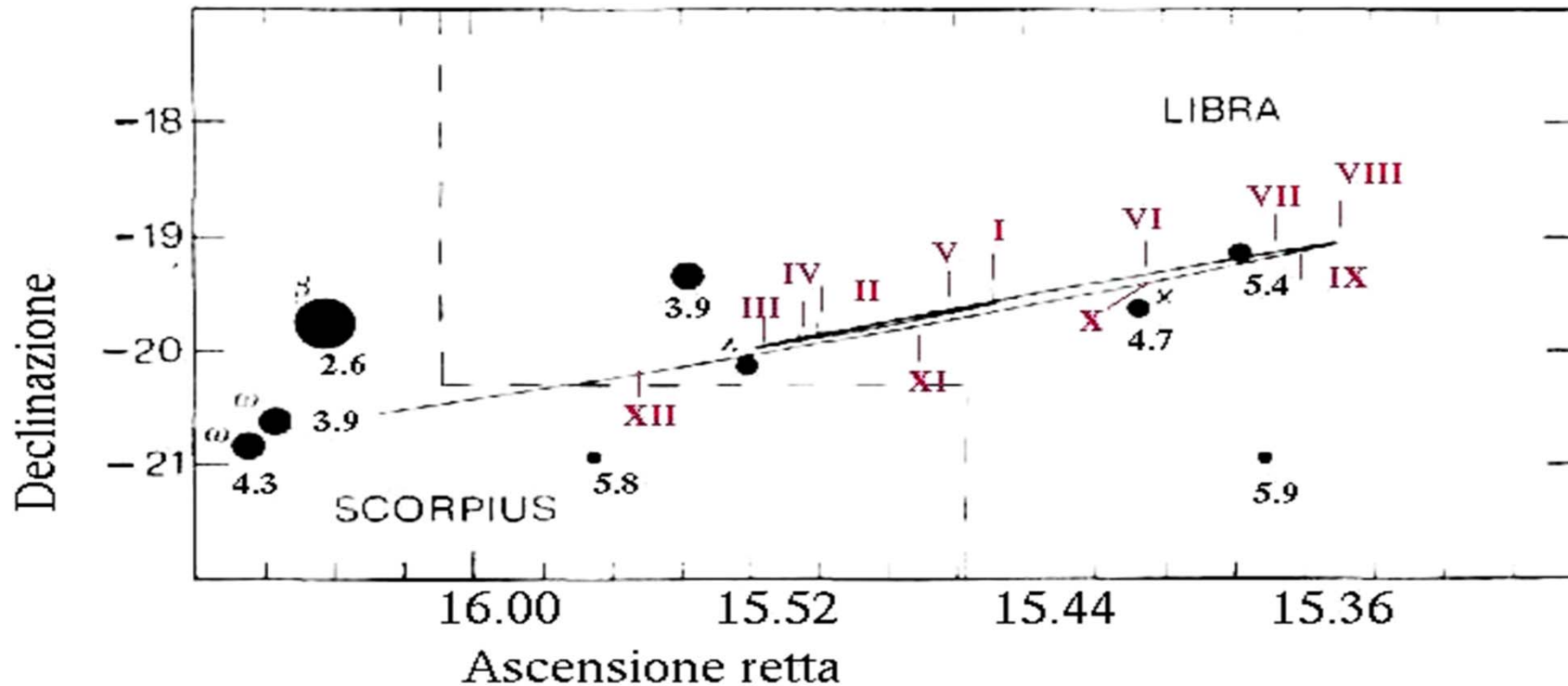


Parametri orbitali dei pianeti

| Pianeta | a (U.A.) | a (mil, km) | e | i | $\omega = 0$ | $\Omega = 0$ |
|-----------------|----------|-------------|-------|---------------|--------------|--------------|
| Mercurio | 0,387 | 57,9 | 0,206 | 7,0 ° | 29,0 ° | 47,9 ° |
| Venere | 0,723 | 108,2 | 0,007 | 2,4 ° | 54,7 ° | 76,3 ° |
| Terra | 1,000 | 149,6 | 0,017 | - | 102,3 ° | - |
| Marte | 1,524 | 227,9 | 0,093 | 1,9 ° | 286,1 ° | 49,3 ° |
| Giove | 5,203 | 778,30 | 0,048 | 1,3 ° | 273,2 ° | 100,1 ° |
| Saturno | 9,539 | 1427,0 | 0,056 | 2,5 ° | 337,9 ° | 113,3 ° |
| Urano | 19,180 | 2869,0 | 0,047 | 0,8 ° | 99,2 ° | 73,7 ° |
| Nettuno | 30,060 | 4496,6 | 0,009 | 1,8 ° | 251,0 ° | 131,4 ° |
| Plutone | 29,440 | 5900,00 | 0,250 | 17,2 ° | 114,3 ° | 109,9 ° |

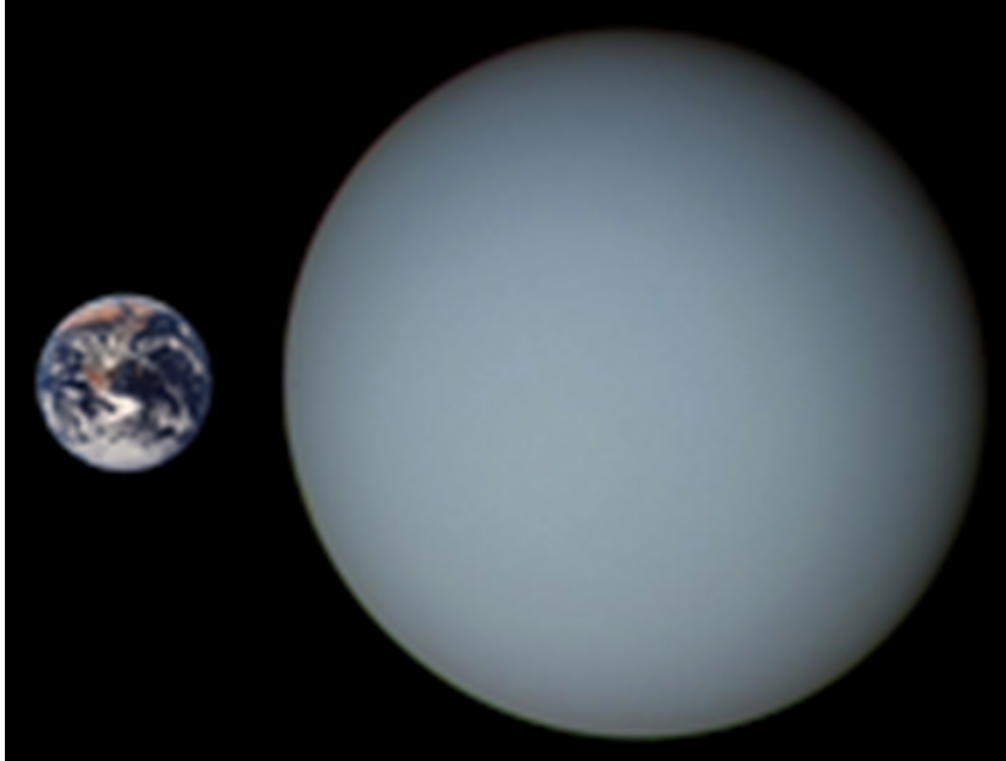
Il calcolo delle orbite

Traiettoria apparente descritta da Urano nel 1981



I numeri romani indicano il primo giorno di ogni mese. Le cifre arabe o le lettere indicano la denominazione dell' oggetto; la sua magnitudine; oppure l' una e l' altra. (Dall' Almanacco di Coelum del 1981)

Le discrepanze nell'orbita di Urano



Urano rapportato
alla Terra

Dopo avere trovato Urano si andò a determinare la sua orbita scoprendo, nel 1830, una differenza tra le previsioni e la posizione vera di 20" (secondi d'arco) circa.

Cosa perturba l'orbita di Urano ?



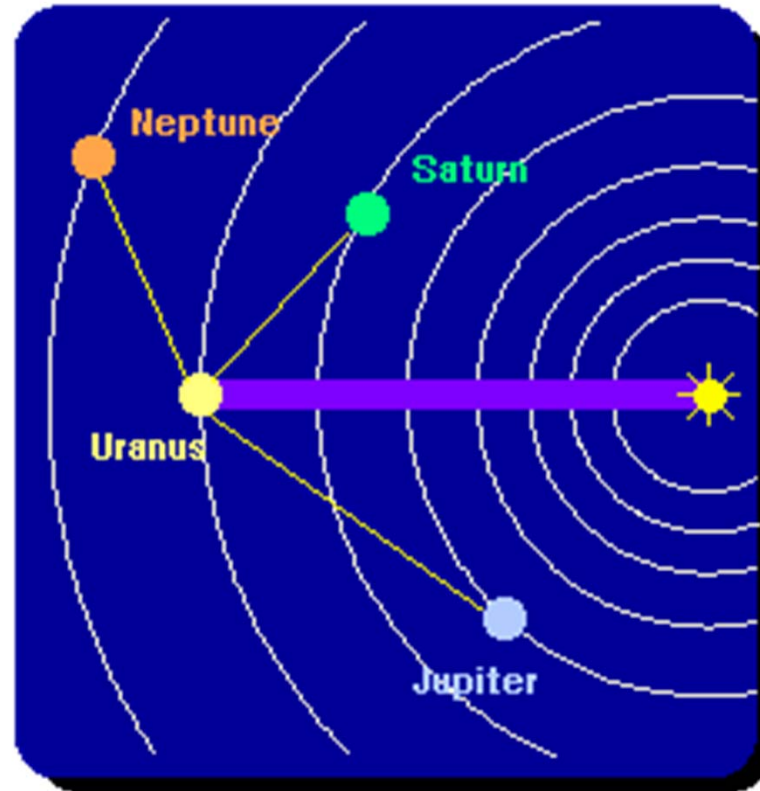
John Couch
Adams
(1819-
1892)



Urbain-Jean-
Joseph Le
Verrier (1811-
1877)

Per identificare il corpo celeste che produceva la perturbazione sull'orbita di Urano occorreva predirne la posizione in cielo, **Adams a Cambridge e Le Verrier a Parigi** eseguirono i complessi calcoli, di meccanica celeste, per determinare la posizione del corpo celeste utilizzando le posizioni note di Giove, Saturno ed Urano.

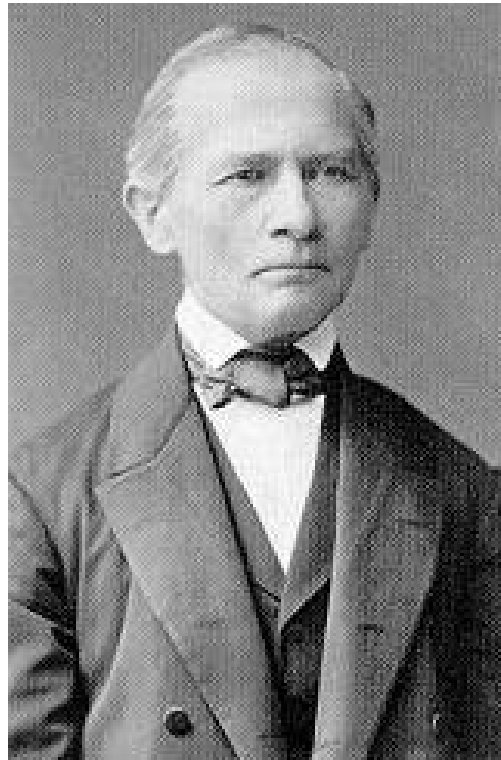
Orbite e perturbazioni



La posizione di un pianeta nella sua orbita non dipende solo dall'attrazione gravitazionale del Sole ma anche dall'azione combinata degli altri pianeti. Si diffuse quindi in breve la certezza che la posizione "prevista" di Urano fosse sbagliata perché non si era tenuto conto dell'attrazione di un corpo celeste situato ancora più lontano dal Sole.

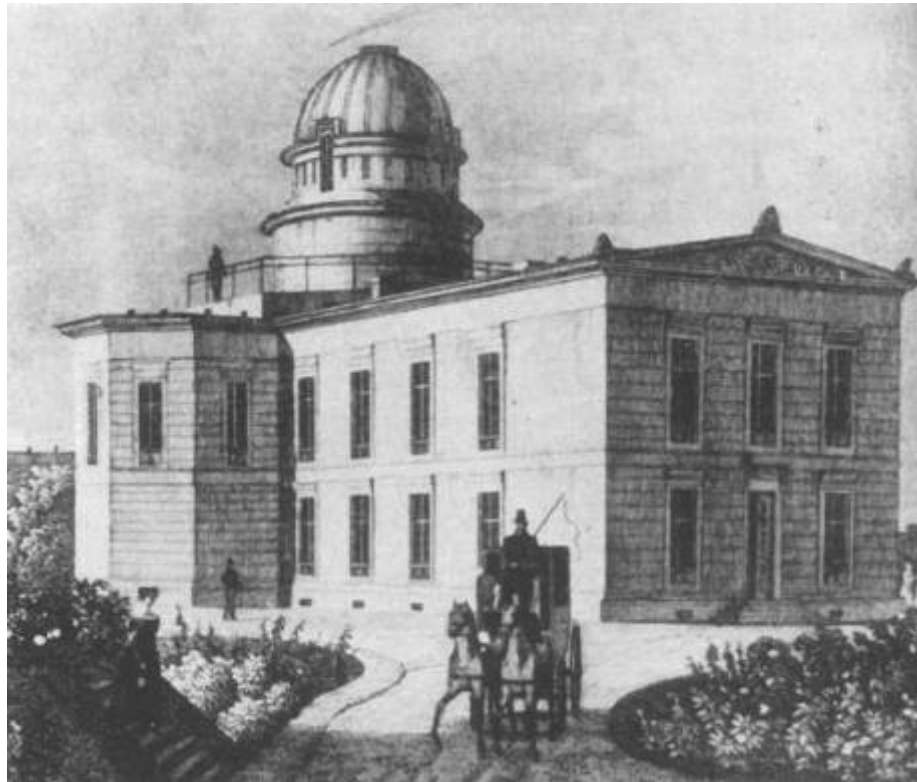
La ricerca del nuovo pianeta

Johann Gottfried
Galle (1812-1910)



Supposto un ipotetico pianeta per “compensare” la differenza tra posizione osservata e prevista ecco che **Le Verrier** chiese all’astronomo **Galle** dell’Osservatorio di Berlino di cercare il nuovo pianeta in una bene precisa posizione ! **La sera del 23 settembre 1846** questi notò la presenza di un astro relativamente brillante dove la carta del cielo non riportava nulla.

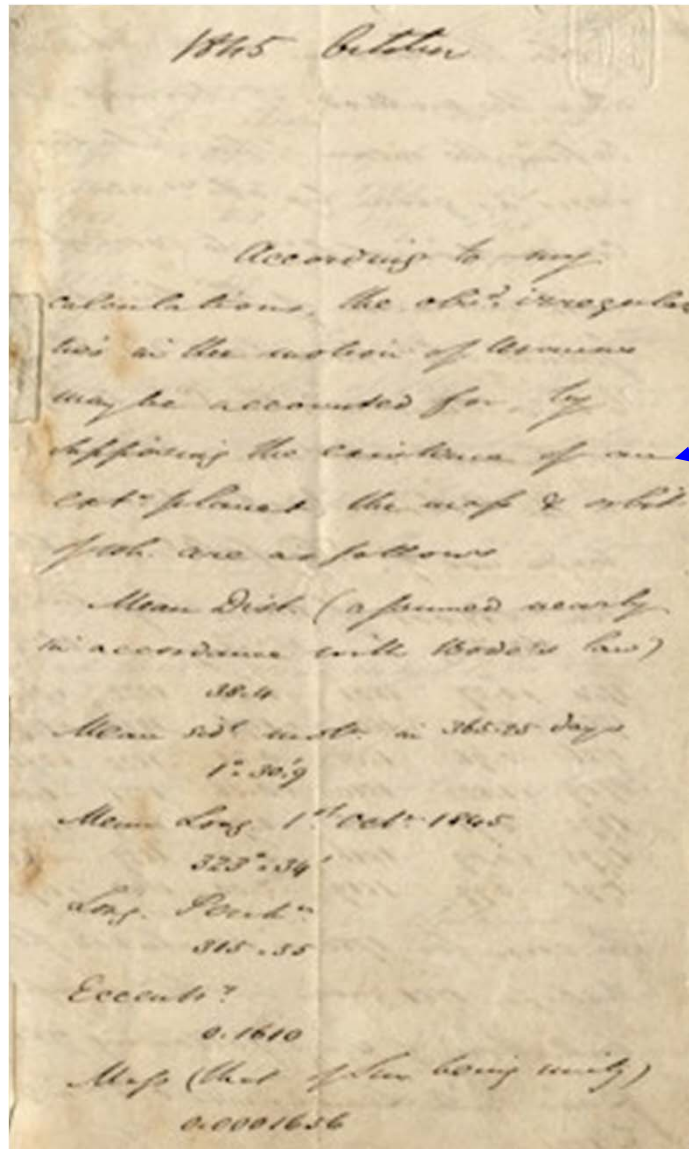
La ricerca del nuovo pianeta



L'osservatorio di Berlino in cui Encke fece le sue osservazioni di Nettuno

Encke con il grande telescopio equatoriale dell'osservatorio di Berlino osservò che il nuovo corpo aveva la forma di un disco e che durante la notte presentava un moto significativo rispetto alle stelle di fondo. La posizione vera del nuovo pianeta risultava distare solo 55' (primi) dalla posizione prevista da **Le Verrier** e di circa il doppio da quella indicata da **Adams**.

La scoperta di Nettuno



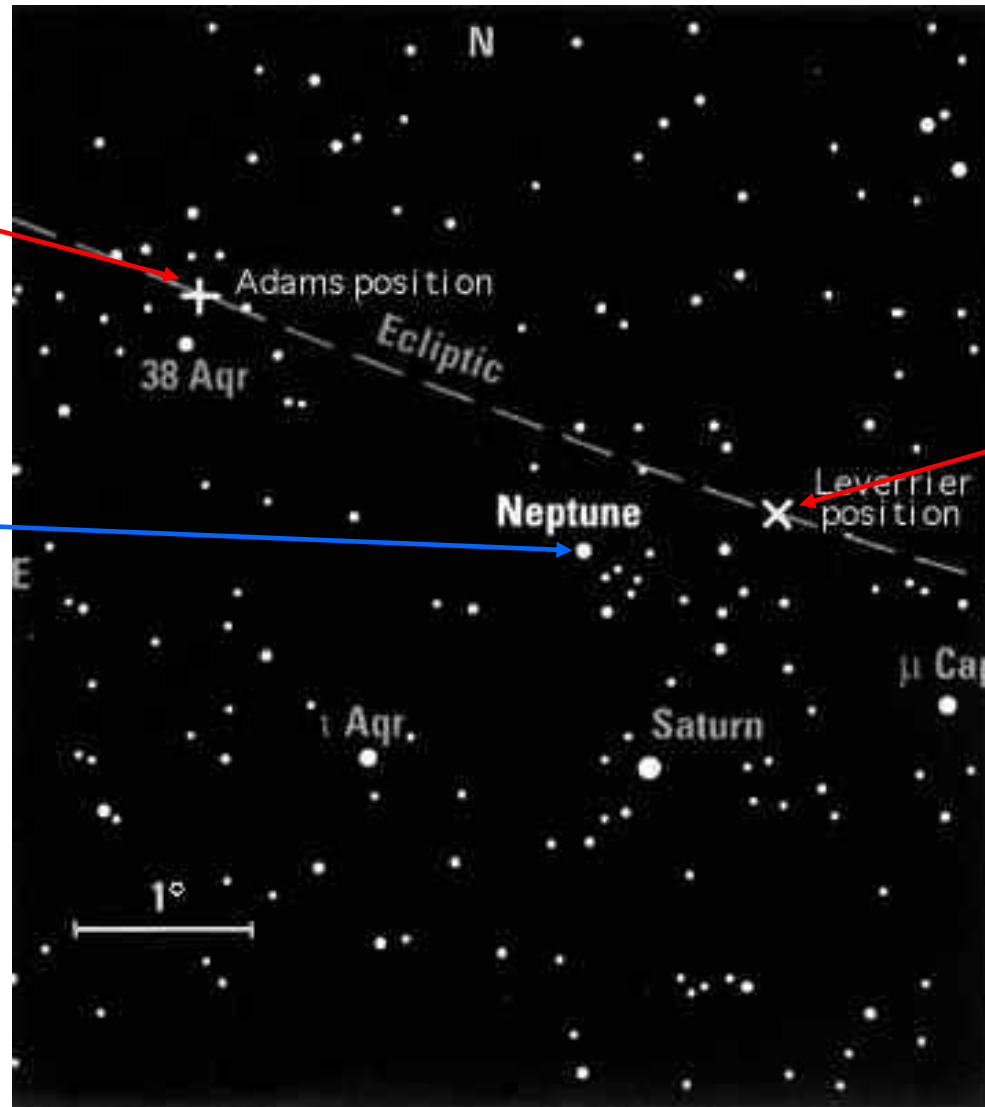
A lato copia della nota inviata da **Adams** nell'autunno del 1845 ad **Airy** in cui lo informa della prevista posizione di Nettuno, In seguito si capì che se la ricerca del pianeta avesse avuto luogo qualche anno più tardi, date le incertezze sulla sua posizione teorica, difficilmente lo si sarebbe trovato.

La scoperta di Nettuno

Posizione prevista da Adams

Posizione "vera" di Nettuno

Posizione prevista da Le Verrier



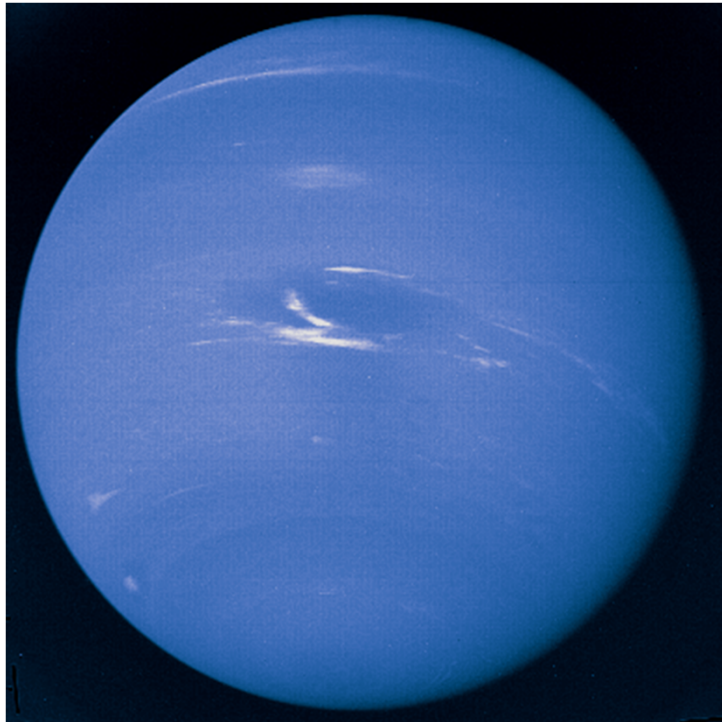
La scoperta dei satelliti di Nettuno



Gerard Peter
Kuiper 1905-1973

Poco dopo la scoperta di Nettuno, **Lassel** nel 1846, individuò il primo dei satelliti del pianeta: **Tritone**. Un secondo satellite, molto distante da Nettuno, fu individuato da **Kuiper** nel 1949 e gli venne dato il nome di **Nereide**, Osservazioni spettroscopiche della fine del 1800 confermate poi da **Slipher** nel 1912, misero in evidenza le bande di assorbimento dovute al metano; pressoché identiche a quelle di Urano.

Parametri orbitali e fisici di Nettuno



Distanza dal Sole (U,A,) = 30,061
Distanza dal Sole (km) = 4 504 300 000
Periodo di rivoluzione (anni) = 164,788
Eccentricità = 0,0097
Inclinazione rispetto all'eclittica = 1° 46'
Velocità orbitale media (km/sec) = 5,45

Massa (Terra = 1) = 17,135
Raggio equatoriale (km) = 24 764
Raggio equatoriale (Terra = 1) = 3,883
Densità media (Terra = 1) = 0,30
Accelerazione di gravità (Terra = 1) = 1,12
Velocità di fuga (km/sec) = 23,50
Periodo di rotazione = 16^h 6^m
Inclinazione sul piano dell'orbita = 28,31°
Albedo = 0,41
Magnitudine visuale = 7,84
Numero satelliti = 13

L'atmosfera di Nettuno

| | |
|-------------------------------|--|
| Pressione superficiale | » 1000 bars |
| Temperatura ad 1 bar | -201 C |
| Temperatura ad 0,1 bar | -218 C |
| Densità superficiale ad 1 bar | ~ 0,45 kg/m ³ |
| Velocità dei venti | 0-200 m/s |
| Altezza di scala | 19,1 – 20,3 km |
| Peso molecolare medio | 2,53 – 2,69 gr/mole |
| Composizione | H ₂ 80,0 (± 3,2) %, He 19,0 (± 3,2) % |
| Aerosol | Ammoniaca ghiacciata, ghiaccio |

Ai confini del Sistema solare



Plutone e il
suo satellite
Caronte
fotografati dal
Telescopio
Spaziale
Hubble,
Cortesia
NASA/STScI

Plutone è il più lontano dei pianeti del Sistema solare, Si trova ad una distanza dal Sole di 39,5 U.A. ed impiega circa 248 anni per compiere una rivoluzione completa ad una velocità di 4,74 km/sec, Plutone è il più piccolo dei pianeti (?) ed anche di alcune delle lune dei pianeti giganti (Io, Europa, Callisto, Ganimede, Titano e Tritone). Nella mitologia greca e romana Plutone rappresenta la divinità degli inferi.

La previsione di un nuovo pianeta



Alla fine dell'ottocento **P. Lowell** pose mano al problema delle residue perturbazioni dell'orbita di Nettuno e nel 1915 dedusse la presenza di un pianeta di massa uguale a 6,5 masse terrestri ad una distanza di 42 U.A. nella costellazione dei gemelli.

Una ricerca sfortunata



Il telescopio
dell'Osservatorio Lowell a
Flagstaff Arizona

Contemporaneamente allo studio dell'orbita di Nettuno furono esaminate migliaia di fotografie del cielo prese nei pressi del piano dell'eclittica al fine di determinare in modo diretto la presenza di un nuovo pianeta. Lowell morì nel 1916 senza aver successo in questa ricerca.

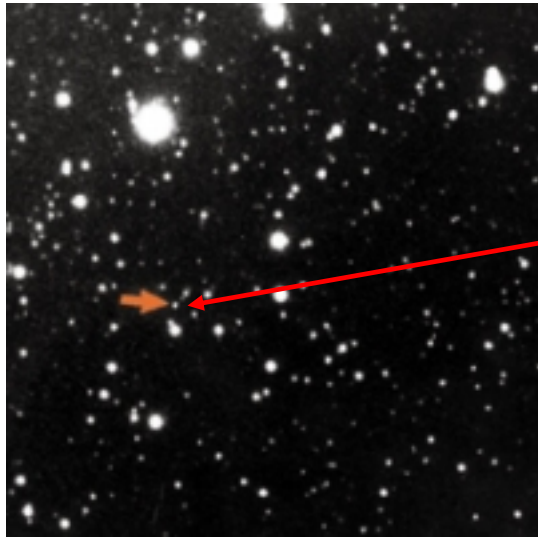
La scoperta di Plutone



Clyde William Tombaugh
4-2-1906 – 17-1-1997

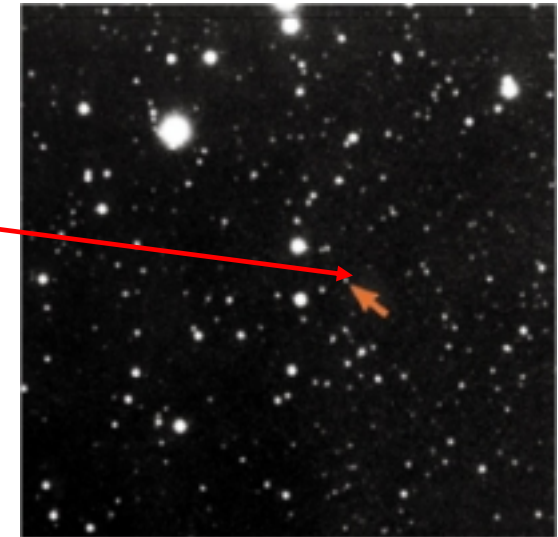
Tombaugh nel 1930, nel momento in cui la costellazione dei Gemelli era in opposizione al Sole, trovò il nuovo pianeta assai vicino alla posizione definita da Lowell a cui diede il nome di Plutone.

L'accidentale scoperta di Plutone



Le lastre fotografiche della scoperta di Plutone

il 23 e 29 gennaio del 1930 prese da Tombaugh nella costellazione dei gemelli



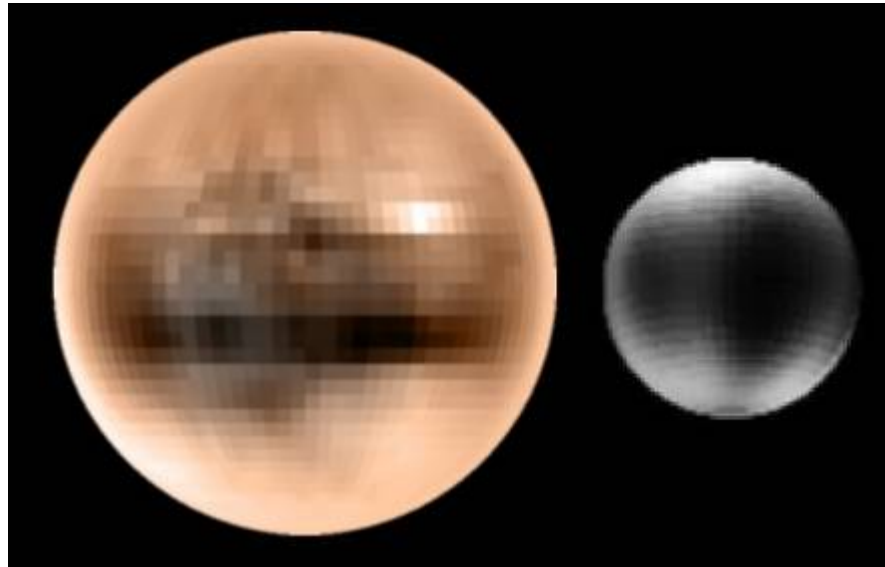
Dal momento però che la massa del pianeta erano troppo piccola rispetto a quella previste rimase per molto tempo il dubbio che si trattasse veramente del pianeta di **Lowell**. Il programma di ricerca continuò così fino al 1943 e fu esteso ad una vastissima zona di cielo ma nessun altro astro (anche se pur più piccolo di Plutone) fu scoperto.

L'accidentale scoperta di Plutone

| Elementi orbitali | Lowell | Pickering | Plutone |
|-----------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| Distanza media (U,A,) | 43,0 | 55,1 | 39,5 |
| Eccentricità | 0,202 | 0,31 | 0,248 |
| Inclinazione | 10 ° | 15 ° | 17,1 ° |
| Passaggio al perielio | Febbraio 1991 | Gennaio 2129 | Settembre 1989 |
| Periodo (in anni) | 282 | 409,1 | 248 |
| Massa (Terra=1) | 6,6 | 2,0 | < 0,7 |

L'accidentale (e fortunata) scoperta di Plutone

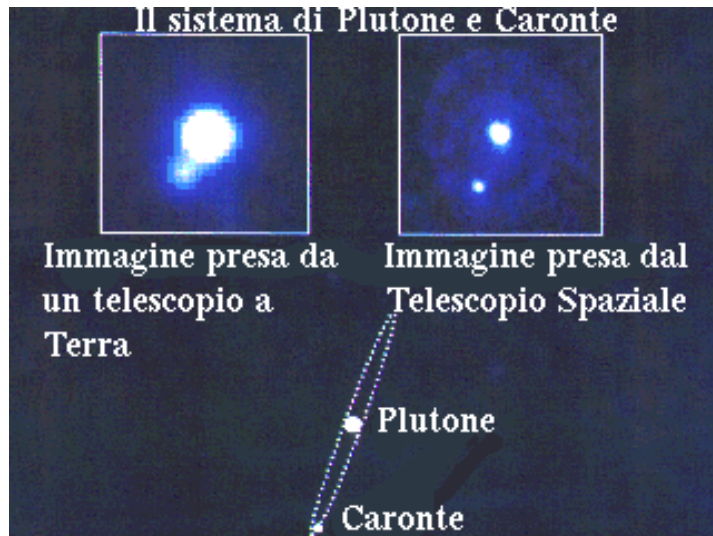
Plutone ed il
suo satellite
Caronte visti
dal
Telescopio
Spaziale HST



L'accumularsi dei dati sulle posizioni di Urano e Nettuno permise di ridurre il numero delle perturbazioni di cui rendere conto, per cui il valore della massa di **Plutone** si ridusse quindi a meno della massa della Terra. La scoperta poi di un satellite di Plutone (**Caronte**) ha permesso una più corretta valutazione della massa riducendone ulteriormente il valore a $0,0026 M_T$ (masse terrestri).

Il fatto curioso è che la massa così ricavata non avrebbe potuto in alcun modo influenzare l'orbita Nettuno per cui risultò incomprensibile come mai Plutone fosse stato trovato proprio nel punto previsto da Lowell.

Parametri orbitali e fisici di Plutone



Distanza dal Sole (U,A,) = 39,53

Distanza dal Sole (km) = 5 913 520 000

Periodo di rivoluzione (anni) = 248,54

Eccentricità = 0,2482

Inclinazione rispetto all'eclittica = $10^{\circ} 10'$

Velocità orbitale media (km/sec) = 4,74

Massa (Terra = 1) = 0,00209

Raggio equatoriale (km) = 1195

Raggio equatoriale (Terra = 1) = 0,1873

Densità media (Terra = 1) = 0,317

Accelerazione di gravità (Terra = 1) = 0,061

Velocità di fuga (km/sec) = 1,1

Periodo di rotazione = $-6,6^g 9^h 17^m = -153^h$
(retrogrado)

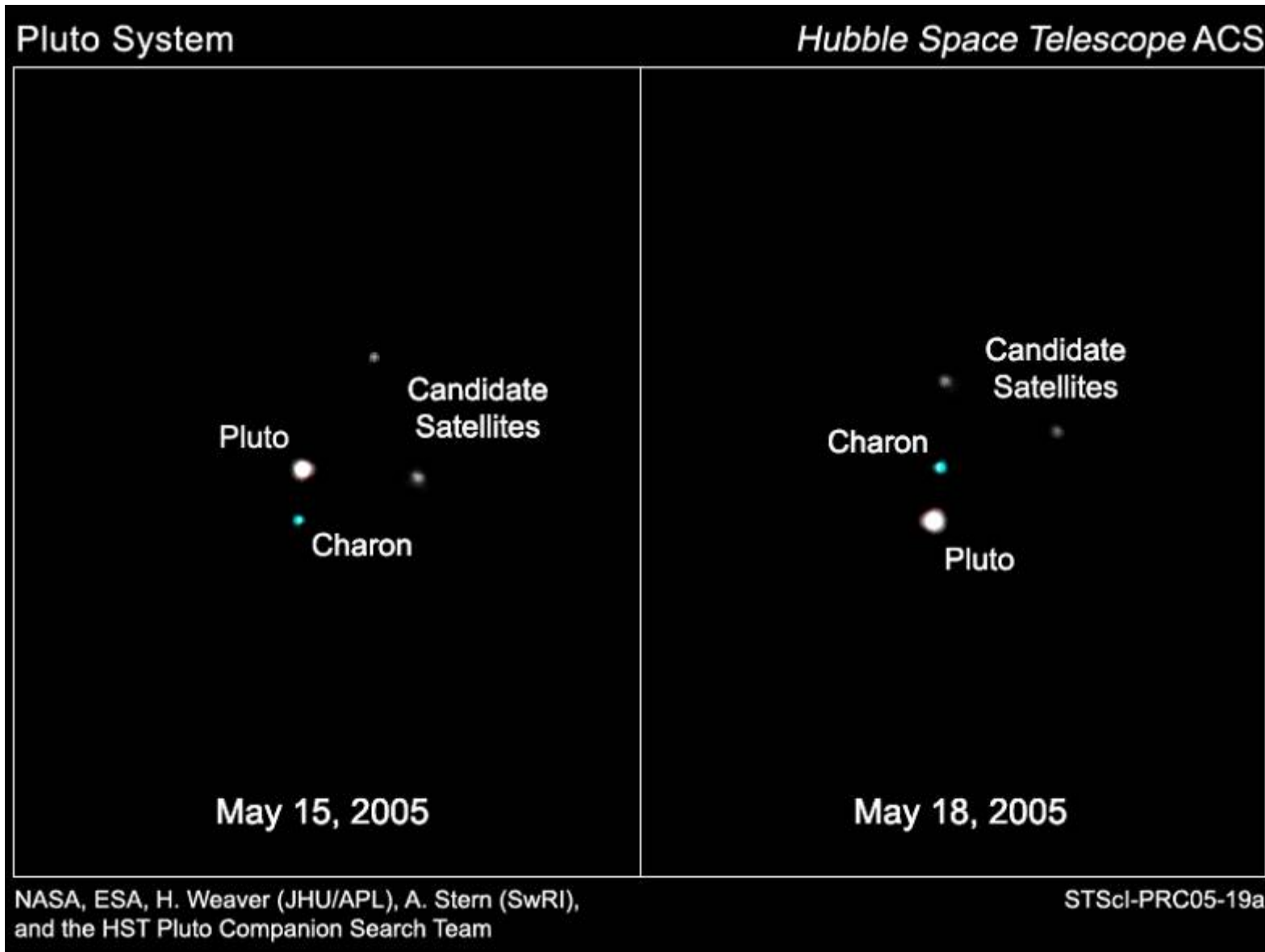
Inclinazione sul piano dell'orbita = 122°

Albedo = 0,30

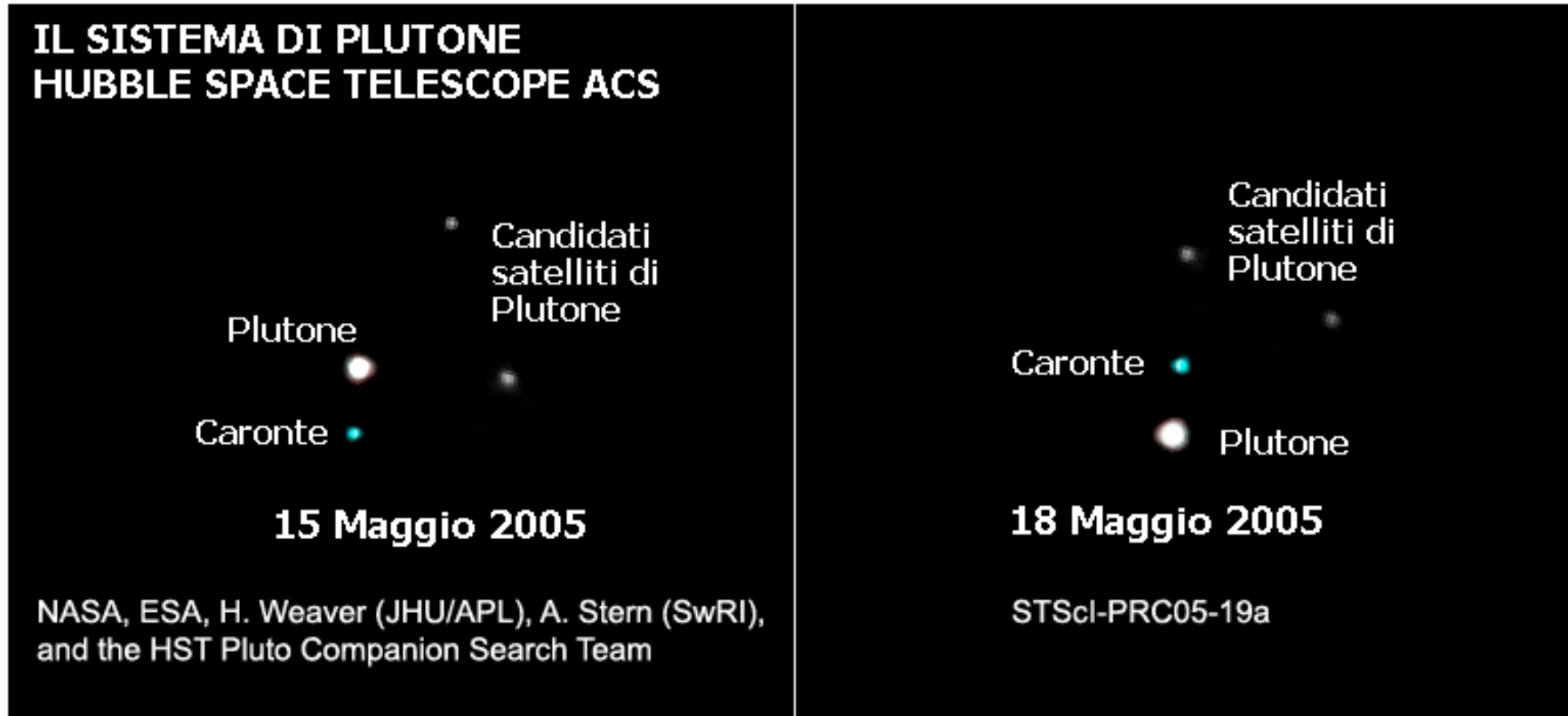
Magnitudine visuale = 15,12

Numero satelliti = 3 (al 2005)

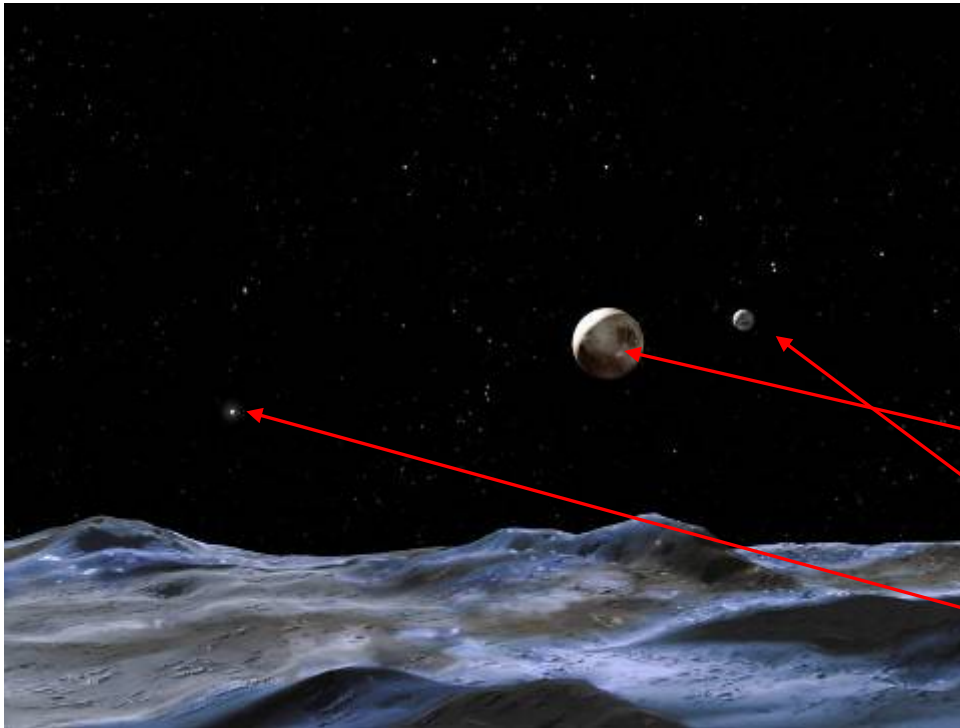
Le nuove lune di Plutone



Le nuove lune di Plutone



Le nuove lune di Plutone S/2005 P1 e P2

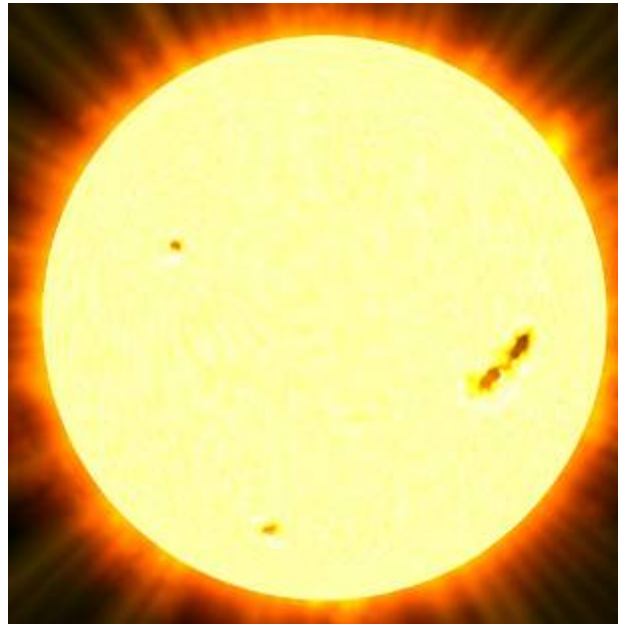


Ricostruzione
artistica della
vista dalla
superficie di
S/2005 P2 di
Plutone
Caronte e
dell'altro satellite
S/2005 P1

HST maggio 2005

La scoperta di due nuovi satelliti di Plutone è stata fatta da HST con osservazioni multiple sino a febbraio 2006, **S/2005 P2** ed **S/2005 P1** sembrano avere diametri di 50-150 km (**Caronte** D=1200 km). Hanno inoltre masse < 0,3% della massa di Caronte (cioè lo 0,03% della massa di **Plutone**), P2 dista 49000 km da Plutone mentre P1 sta ad almeno 65000 km, Sembrano ruotare attorno a Plutone in senso antiorario ma si attende ancora conferma delle orbite dei due nuovi satelliti di Plutone. 49

Ritorno al Sole pianeta X o Vulcano



Prima della scoperta di Plutone l'attenzione venne rivolta anche verso le orbite più interne del Sistema solare alla ricerca di nuovo pianeta: **il pianeta X o Vulcano** ! L'ipotesi venne avanzata poiché si trovò (circa nel 1850) che il perielio di **Mercurio** avanza (o precede) di circa $1,5^\circ$ /secolo per (un grado e mezzo per secolo) !

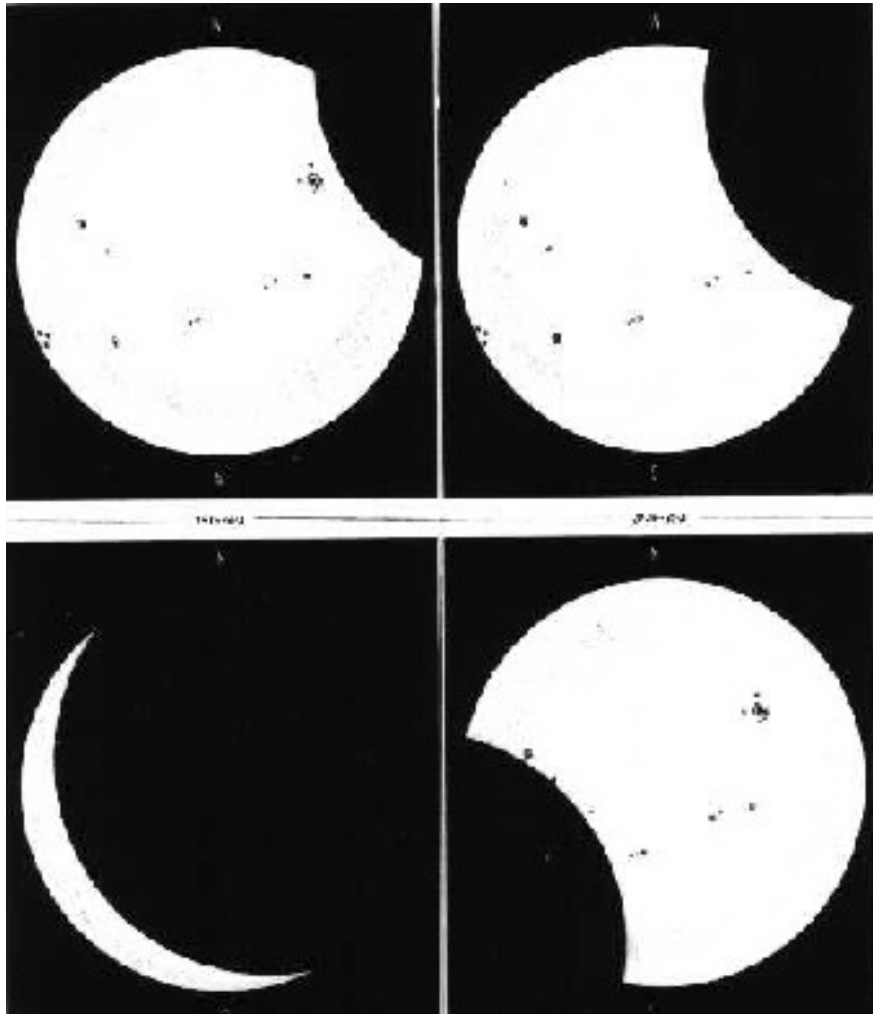
Fu lo stesso **Le Verrier** nel 1846 e nel 1859 che avanzò l'ipotesi che questo misterioso "avanzamento" fosse causato da un pianeta orbitante tra Mercurio ed il Sole.

Il pianeta X o Vulcano

Nel 1859 un astronomo dilettante **D. Lescarbault** scrisse a **Le Verrier** che aveva osservato una piccolissima massa rotonda attraversare il disco del Sole più piccola dello stesso Mercurio, Le Verrier si convinse che fosse il nuovo pianeta da lui previsto e gli diede il nome di **Vulcano** e **previde un nuovo transito del pianeta tra il 29 marzo ed il 7 aprile del 1860 !**

Nei dieci giorni tra il 29 marzo ed il 7 aprile del 1860 il Sole fu tenuto sotto costante osservazione ma l'esito della ricerca fu negativo. Flamarrion osservò che durante le eclissi di Sole mai questo pianeta era stato individuato e quando arrivò la notizia che il puntolino nero osservato il 4 aprile del 1876 era una macchia solare priva di penombra l'entusiasmo sulla ricerca di Vulcano si spense tra i tanti astronomi dilettanti che continuamente lo cercavano.

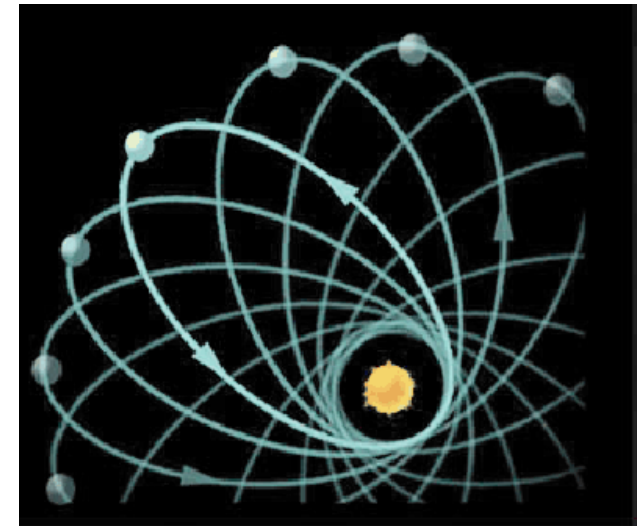
Vulcano e l'eclissi del 1860



Nel luglio del 1878 **Watson** e **Swift** affermarono che durante l'eclisse del 29 luglio 1878 avevano visto Vulcano ed il New York Times del 16 agosto 1878 diede la notizia della scoperta. Ma la comunità astronomica non confermò la notizia e nel 1909 Campbell del Lick Observatory dichiarò che Vulcano non esisteva! Come spiegare però la precessione del perielio di Mercurio ??

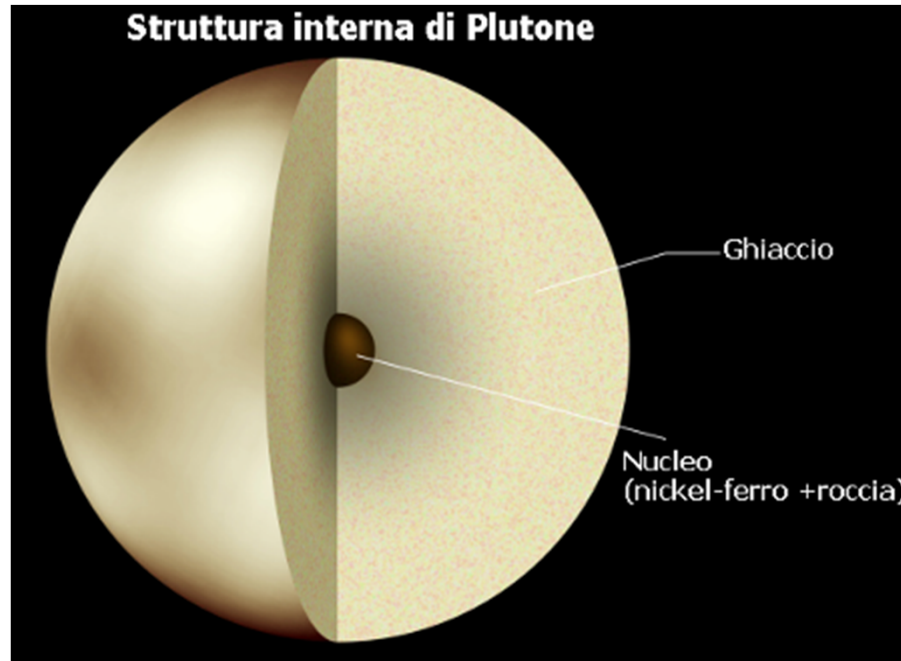
La precessione del perielio di Mercurio

| Causa della precessione | Valore della precessione (secondi di arco per secolo) |
|------------------------------|---|
| Precessione generale al 1900 | 5025 ",6 |
| Venere | 277",8 |
| Terra | 90",0 |
| Marte | 2",5 |
| Giove | 153",6 |
| Saturno | 7",3 |
| Altri pianeti | 0",2 |
| Totale previsto | 5557",0 |
| Totale osservato | 5599",0 |
| Discrepanza | 42",7 |



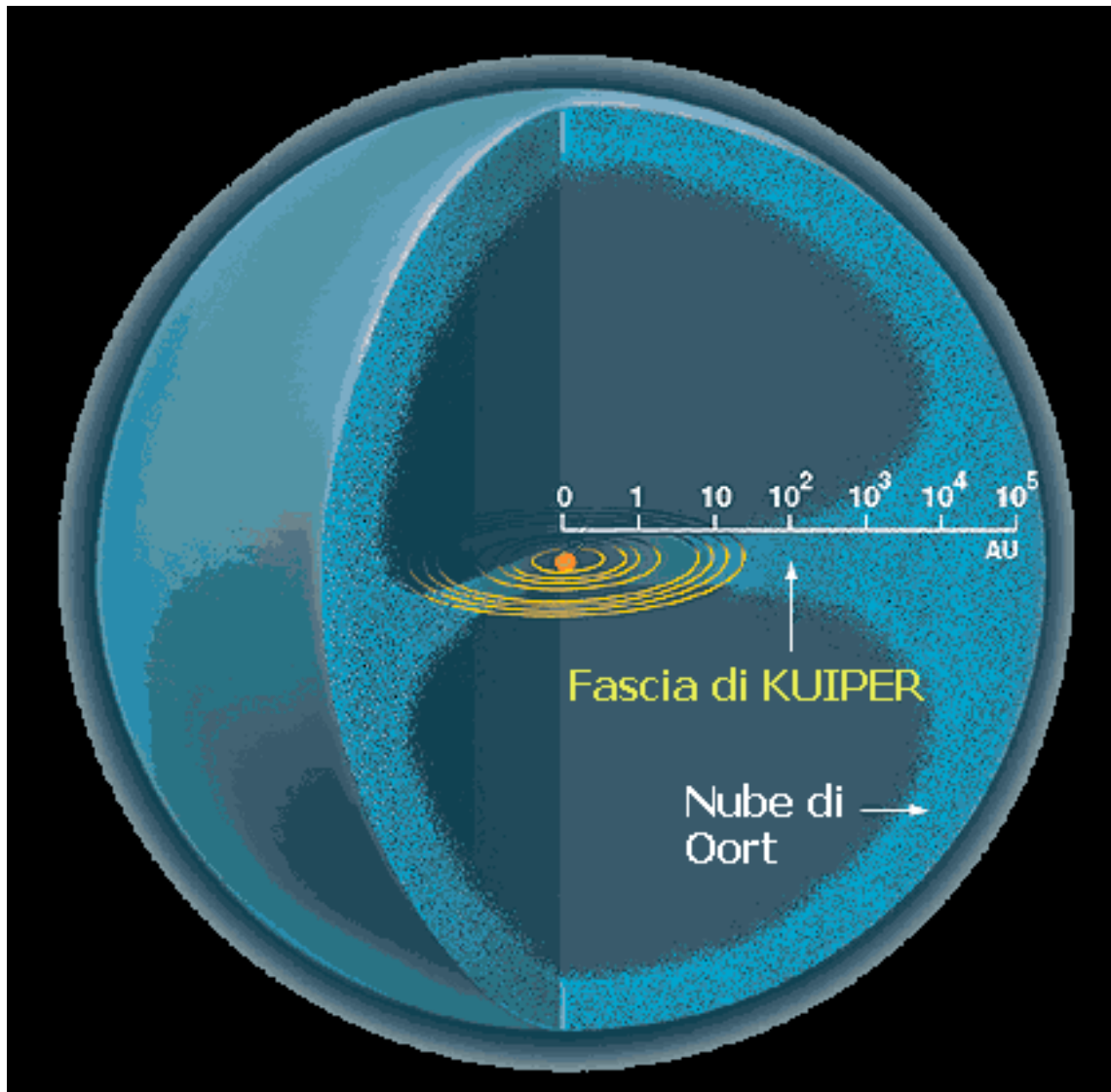
Per rendere conto della precessione "eccessiva" di 42",7 secondi di arco per secolo non è sufficiente la Teoria Newtoniana ma bisogna ricorrere alla Relatività Generale !

Il pianeta X o decimo pianeta non è necessario per spiegare le anomalie dell'orbita di Nettuno



Dopo la scoperta di Plutone ci si è accorti che la sua piccola massa non era sufficiente per spiegare le perturbazioni nelle orbite degli altri pianeti (ad esempio Urano e Nettuno). Attualmente non è neppure necessario ipotizzarne l'esistenza perché le discrepanze si riducono alquanto se, nei calcoli di meccanica celeste, viene utilizzata la massa di Nettuno determinata dopo l'incontro con il Voyager 2.

La nube di Oort



L'astronomo **Oort** suggerì che *le comete a lungo periodo* hanno origine da una nube sferica che avvolge il Sistema solare (**Nube di Oort**) distante oltre 40000 U.A. *Le comete a breve periodo*, secondo l'astronomo olandese, altro non sono che comete a lungo periodo catturate dai pianeti giganti esterni.

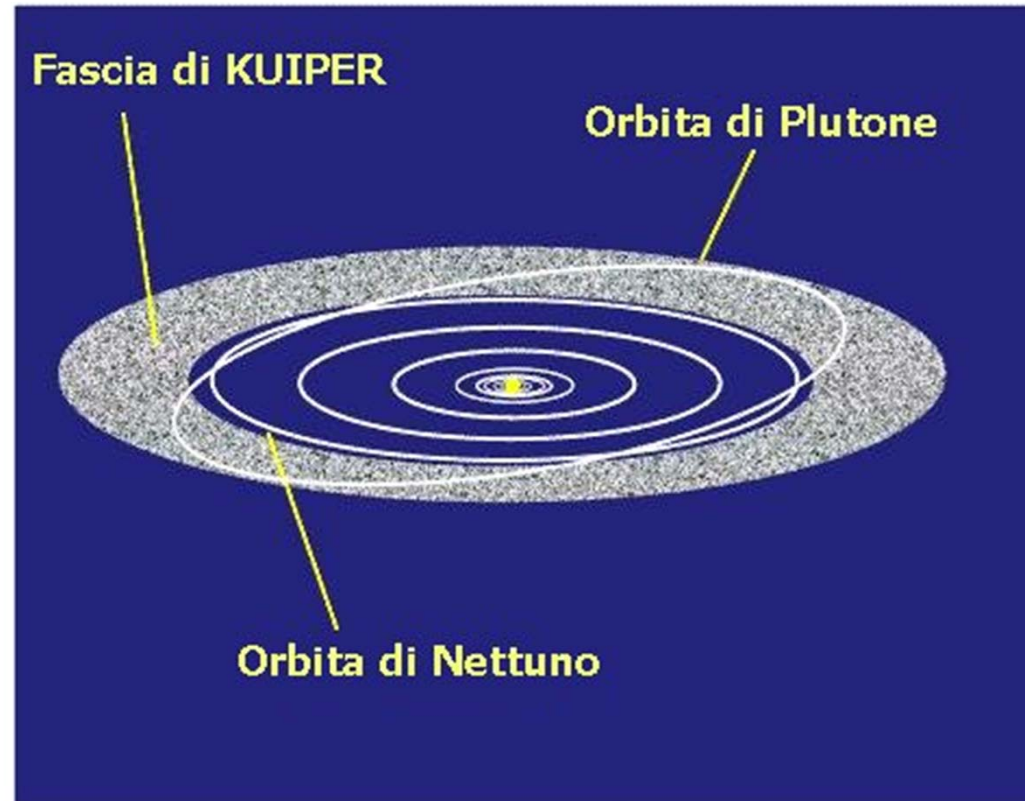
Le comete a breve periodo



La cometa
a breve
periodo
Encke

Si verificò in seguito, tramite simulazioni numeriche, che il meccanismo di cattura da parte dei pianeti giganti è inefficace per produrre comete a breve periodo. In questo modo la stessa ipotesi della esistenza della nube di Oort venne messa in dubbio o, per lo meno, non la si considerò più capace di costituire, in quanto troppo distante, il serbatoio della comete a breve periodo.

La fascia di Kuiper



L'immagine del Sistema solare si è profondamente evoluta nell'ultimo decennio del XX secolo. **Plutone** non è più l'unico tra i corpi celesti più distanti del Sistema solare: **un gran numero di corpi ghiacciati sono stati recentemente scoperti ai confini del Sistema solare.**

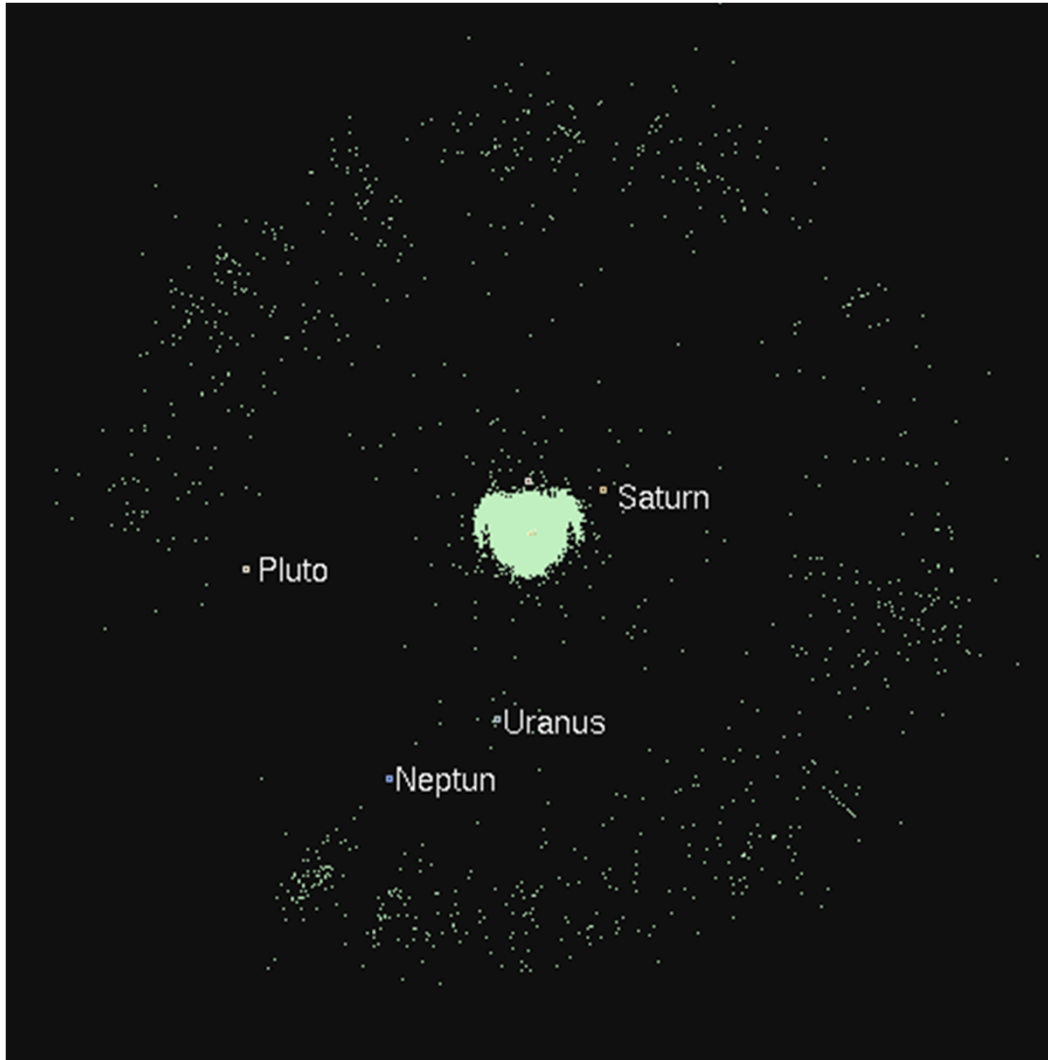
I corpi distanti della fascia di Kuiper



D. Jewitt

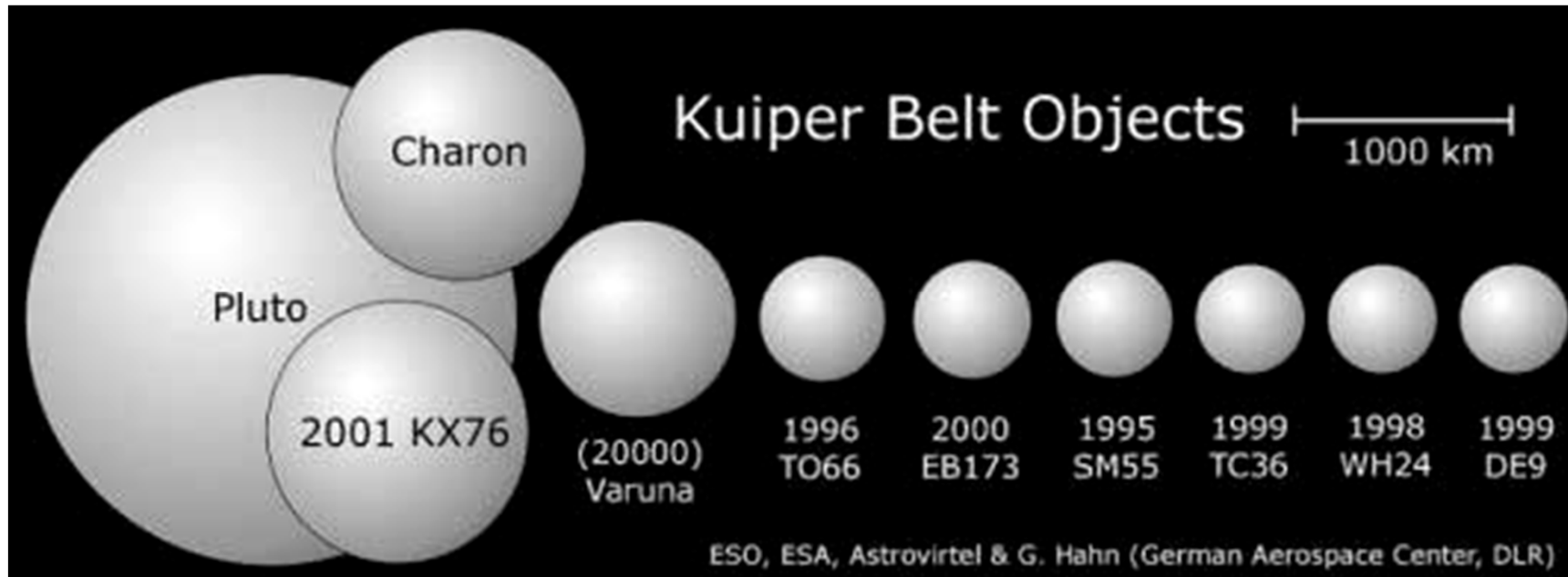
Il primo oggetto effettivamente osservato oltre l'orbita di Plutone da **D. Jewitt e J. Luu** il 30 agosto 1992 fu un corpo (15760 192 QB1), di alcune centinaia di km di diametro. Dopo questa prima scoperta il numero degli oggetti aumentò notevolmente. A tutto il gennaio 2003 erano almeno 700 i corpi celesti scoperti denominati **transnettuniani (TNOs)** ma anche **oggetti di Kuiper (KNOs)** oppure **oggetti di Edgeworth-Kuiper**, Negli ultimi due anni il loro numero si è ulteriormente incrementato sino a raggiungere i 1000.

Transnettuniani (TNOs)



Si ritiene che, per ragioni puramente statistiche debbano esistere **più di 100000 oggetti con diametro superiore ai 100 km oltre le 50 U.A. tra la fascia di Kuiper e la nube di Oort.** La scoperta di questi oggetti è stata resa possibile dalla forte eccentricità delle loro orbite e potrebbero costituire una naturale riserva per le comete a breve periodo. La natura e le proprietà chimiche di questi corpi celesti è poco conosciuta data la loro bassa luminosità. **I TNOs probabilmente sono strutture fossili risalenti alla formazione del Sistema solare.**

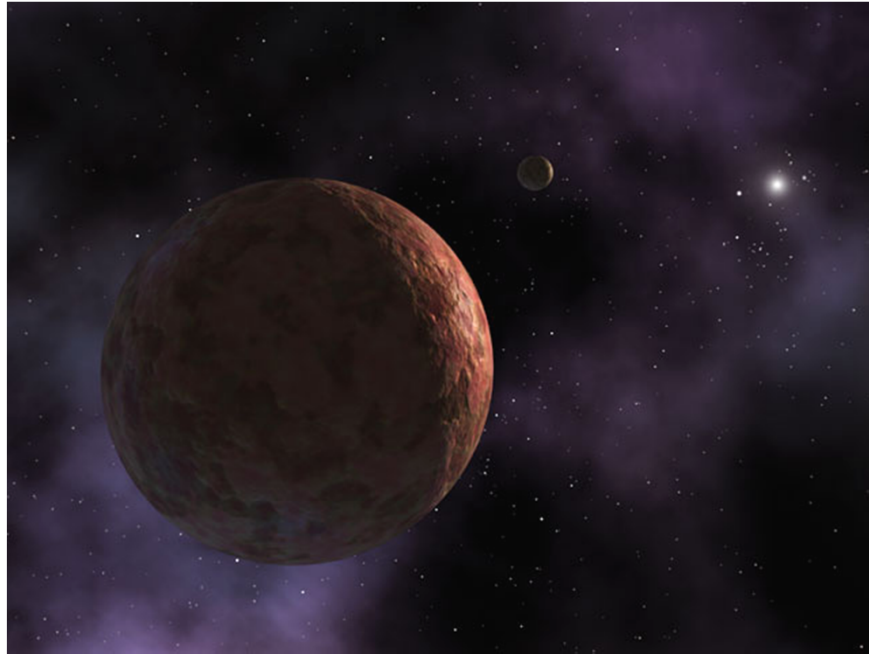
Classificazione dei transnettuniani (TNOs)



I **Transnettuniani (TNOs)** o corpi celesti delle parti esterne del Sistema solare sono classificati come :

1. **TNOs classici**
2. **TNOs risonanti** vengono chiamati anche **Plutini** data la loro somiglianza a Plutone e Caronte,
3. **TNOs sparsi (STNO)**
4. **Centauri (C)**

TNOs classici



TNOs classici: sono sparsi in una regione compresa tra 42 e 48 U.A. cioè : $42 \text{ U.A.} < a < 48 \text{ U.A.}$ con basse eccentricità ($e \sim 0,07$) ed inclinazioni $i < 32^\circ$. Si ritiene che questi siano gli oggetti più primitivi e che comprendano i $2/3$ della intera popolazione. Non sono associati ad alcuna risonanza e possono essere suddivisi in due sottoclassi:

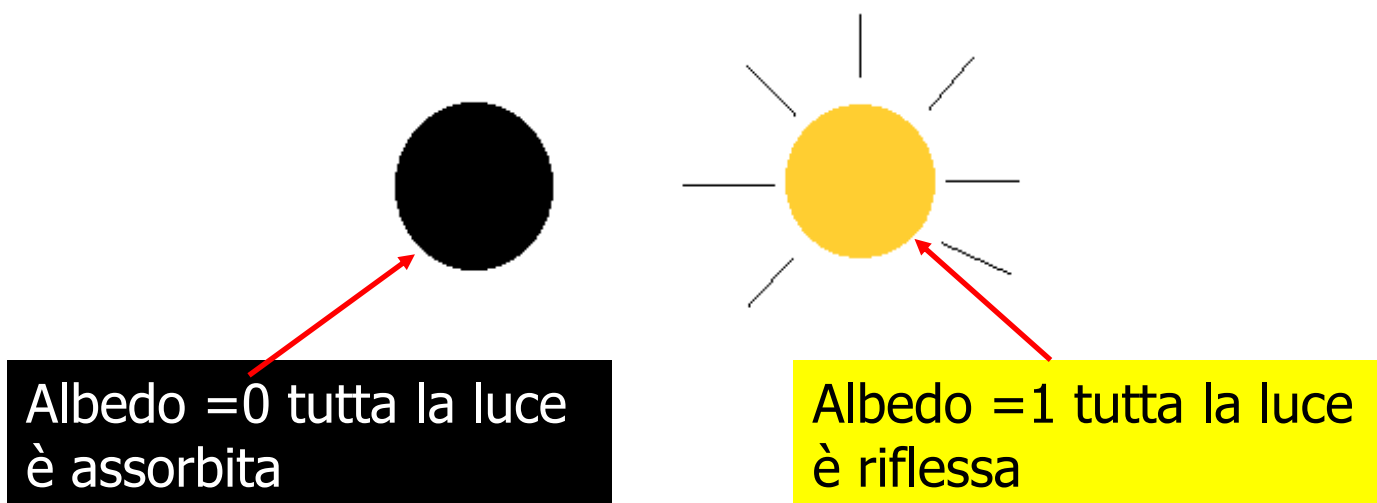
1. TNOs "cold" con inclinazione $i < 4,5^\circ$
2. TNOs "hot" con inclinazione $i > 4,5^\circ$

L'irraggiamento solare



Fondamentale nel determinare le caratteristiche dei Transnettuniani è la misura dell'**irraggiamento solare**: la quantità di energia che raggiunge il pianeta provenendo dal Sole e che diminuisce con l'inverso del quadrato della distanza del pianeta dal Sole.

Albedo e temperatura di un pianeta



Un pianeta ma anche un TNOs ri-emette una quantità di energia che è determinata dal suo albedo A , Se ha un raggio R_p ed una temperatura (uniforme) T_p allora vale la seguente relazione

$$(1 - A) \Phi = 4 \sigma T_p^4$$

$$\Phi = L_{\odot} / 4 \pi D^2$$

In base a questa relazione nota l'albedo ed il valore del flusso di radiazione dal Sole permette di calcolare, seppur in modo approssimato, la temperatura superficiale di un pianeta !

Interazioni Sole – pianeta e l'importanza dell'albedo per I TNOs

Riscaldamento (senza atmosfera) dipende
– dalla distanza dal Sole
– dall'albedo, A , del pianeta

$$\frac{E_{riflessa}}{E_{incidente}}$$

Bilancio energetico

Energia emessa ed energia ricevuta devono eguagliarsi

$A = 0$ nessuna riflessione, tutta l'energia viene assorbita;
 $A = 1$ tutta l'energia viene riflessa;
 $A=0,8$ ghiaccio
 $A=0,7$ nubi
 $A=0,1 - 0,25$ rocce;
 $A_{Terra} = 0,38$

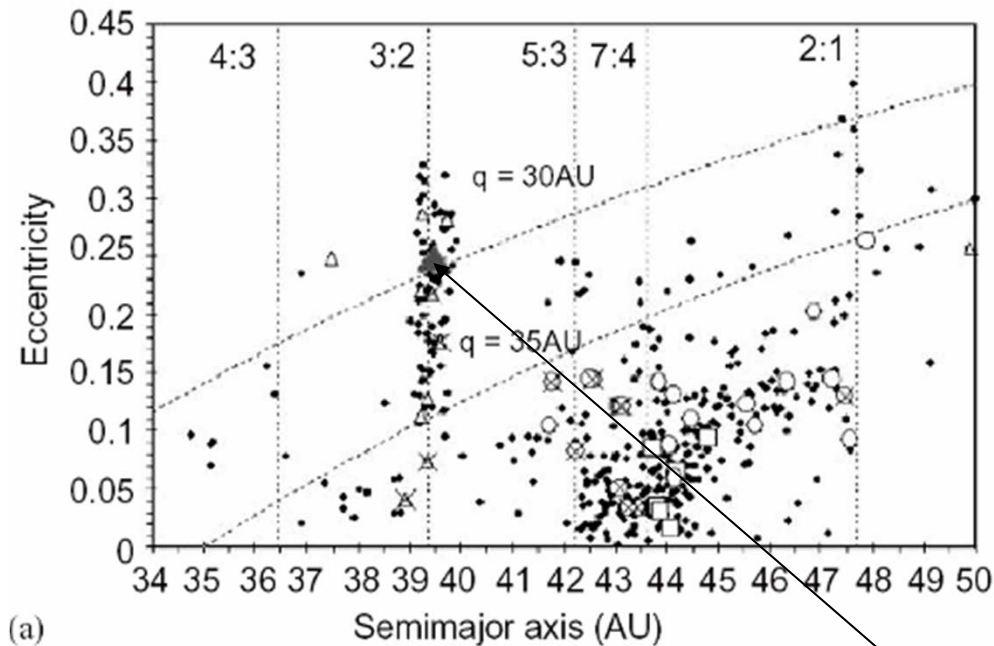
Insolazione e temperatura superficiale dei pianeti rispetto alla Terra

| | Φ Luminosità solare sul Pianeta in watt/m² | T_p Temperatura superficiale del pianeta senza atmosfera ° C |
|-----------------|---|---|
| Mercurio | 8945 | +161 |
| Venere | 2624 | -20 |
| Terra | 1366 | -25 |
| Marte | 588 | -63 |
| Giove | 50 | -171 |
| Saturno | 15 | -196 |
| Urano | 3,7 | -219 |
| Nettuno | 1,5 | -228 |
| Plutone | ? | ? |

I Transnettuniani (TNO's)

| Oggetto | a (U.A.) | e | i (°) | D km | H (mag v ass) | Albedo | Tipo |
|------------------------|----------|-------|-------|-----------|---------------|-----------|---------|
| Huya | 39,719 | 0,281 | 15,5 | < 540 | 4,7 | > 0,08 | 3:2TNO |
| Chaos | 45,715 | 0,105 | 12,1 | < 742 | 4,8 | > 0,04 | TNO |
| 2002 AW ₁₉₇ | 47,471 | 0,130 | 24,3 | 700 ± 50 | 3,3 | 0,17±0,03 | 2:1TNO |
| 1996 TO ₆₆ | 43,139 | 0,121 | 27,5 | < 897 | 4,5 | > 0,04 | TNO |
| Ixion | 39,534 | 0,241 | 19,6 | < 804 | 3,2 | > 0,15 | 3:2TNO |
| Varuna | 43,070 | 0,051 | 17,2 | ~ 1060 | 3,7 | 0,038 | TNO |
| 2002 TX ₃₀₀ | 43,081 | 0,121 | 25,9 | < 1110 | 3,3 | > 0,06 | TNO |
| 2002 TC ₃₀₂ | 55,139 | 0,239 | 35,1 | < 1195 | 3,9 | > 0,04 | 5:2STNO |
| Orcus | 39,453 | 0,218 | 20,6 | ~ 1200 | 2,3 | 0,150 | |
| Caronte | 39,482 | 0,249 | 17,1 | 1250±50 | 1,0 | 0,38 | 3:2bTNO |
| Quaoar | 43,440 | 0,034 | 8,0 | 1260±190 | 2,6 | 0,101 | TNO |
| Sedna | 501 | 0,848 | 11,9 | < 1800 | 1,6 | | STNO |
| Plutone | 39,482 | 0,249 | 17,1 | 2345 ± 55 | -1,0 | 0,44-0,61 | 3:2bTNO |

I Transnettuniani (TNO's) eccentricità



Le linee verticali indicano le risonanze del moto medio dei TNOs rispetto a Nettuno,

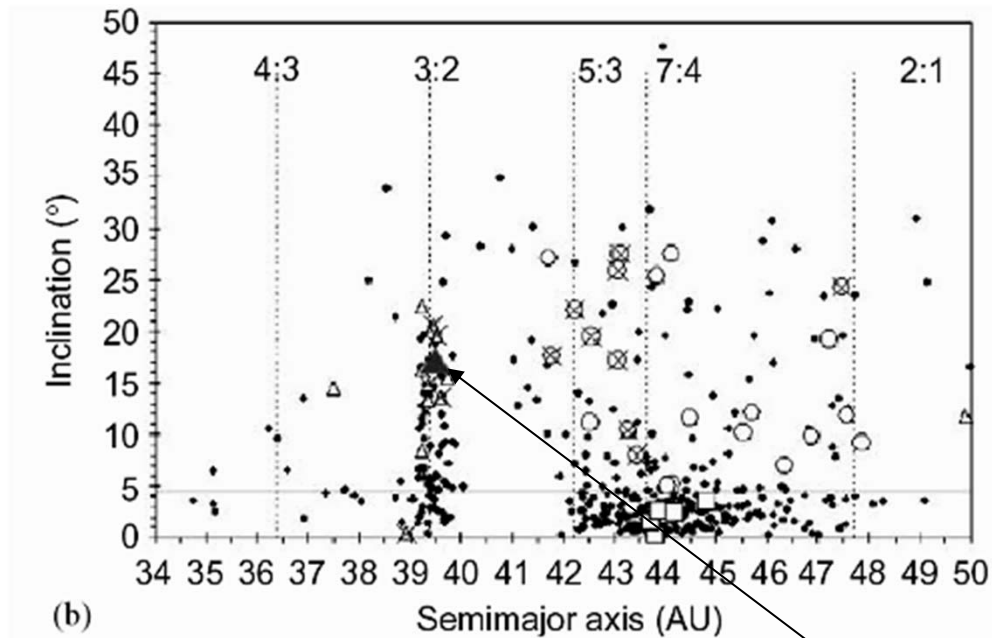
Le curve oblique selezionano le distanze a 30 e 35 U.A.

I TNO's vengono suddivisi in "cold TNO's" con inclinazione $i < 4,5^\circ$ (**freddi TNO's**) e "hot TNO's" con inclinazione $i > 4,5^\circ$ (caldi TNO's),

1. \circ con $H < 5,5$ i maggiori in diametro tra i TNOs (H =magnitudine visuale assoluta) (big hot classical TNO's)
2. \square (big cold classical TNO's)
3. Δ (big non-classical TNO's)
4. \blacktriangle Plutone
5. X segnalano i TNO's molto grandi con $H < 4,5$

Si noti una misteriosa concentrazione di TNO's ad $a < 43,5$ U.A.

I Transnettuniani (TNO's) inclinazioni



Le linee verticali indicano le risonanze del moto medio dei TNOs rispetto a Nettuno,

I TNO's vengono suddivisi in "cold TNO's" con inclinazione $i < 4,5^\circ$ (**freddi TNO's**) e "hot TNO's" con inclinazione $i > 4,5^\circ$ (caldi TNO's),

1. \circ con $H < 5,5$ i maggiori in diametro tra i TNOs (H =magnitudine visuale assoluta) (big hot classical TNO's)
2. \square (big cold classical TNO's)
3. \triangle (big non-classical TNO's)
4. \blacktriangle Plutone
5. \times segnalano i TNO's molto grandi con $H < 4,5$

Si noti una misteriosa concentrazione di TNO's ad $a < 43,5$ U.A.

Centauri C

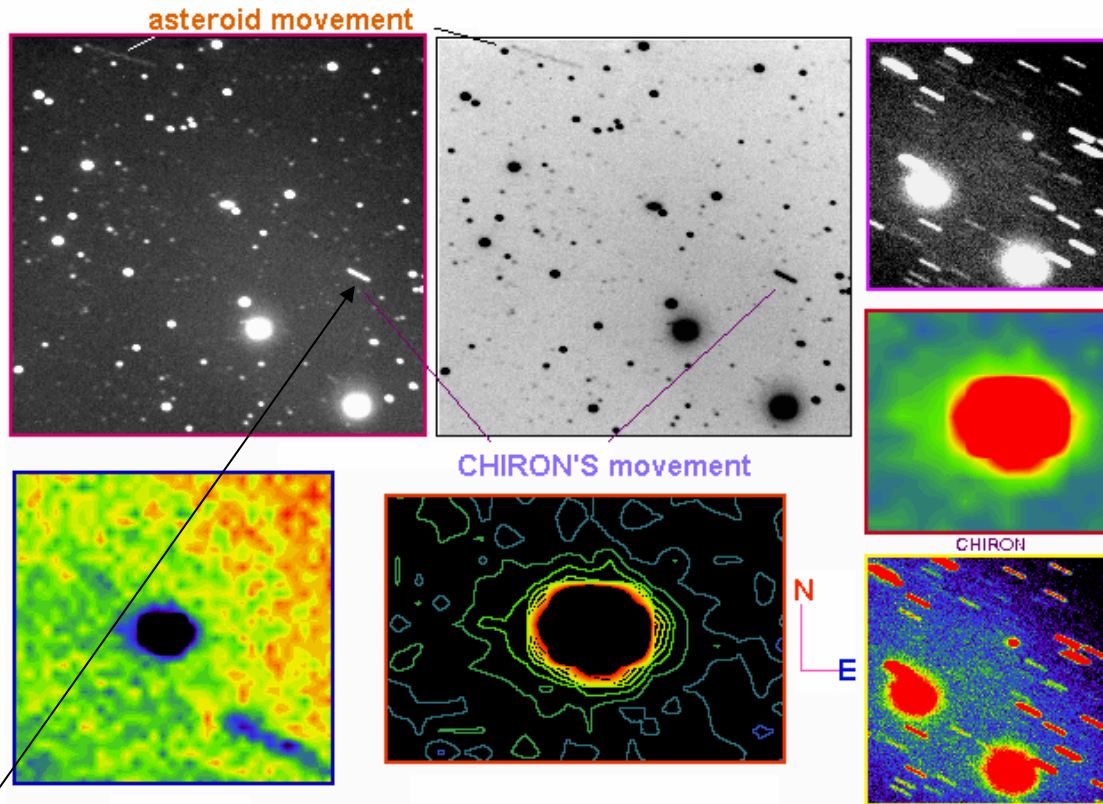
Il centauro
Chirone con
Achille



I **Centauri (C)** sono corpi celesti in orbite di transizione tra i TNOs e la famiglia di comete di tipo Giove.

Chirone

IMAGES OF CHIRON TAKEN DURING THE NIGHT OF APRIL 02th TO APRIL 03th 1995
 (Observer Denis Bergeron, Val-des-bois, Quebec, Canada)



(MEADE SCT 10" F6 CCD SBIG ST-6 CAMERA SEE REPORTS)

| Oggetto | a (U.A.) medio | q | Q | e | i (°) | Diametro km | H=magn vis. assoluta | Albedo |
|---------------|-------------------|------|-------|------|-------|----------------|-------------------------|-------------|
| Chiron | 13,665 | 8,45 | 18,77 | 0,38 | 6,9 | 148 ± 8 | 6,5 | 0,17 ± 0,02 |

Proprietà dei Centauri

| Oggetto | a (U.A.) medio | q | Q | e | i (°) | Diametro km | H=magn vis. assoluta | Albedo |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------------|-------------------------|---------------|
| 1998 SG 35 | 8,42 | 5,8 3 | 11, 01 | 0,3 1 | 15,6 | ~ 35 | | |
| Asbolus | 17,942 | 6,8 4 | 29, 01 | 0,6 19 | 17,6 | 66 ± 4 | 9,0 | 0,12 ± 0,03 |
| Nessus | 24,39 | 11, 78 | 37, 01 | 0,5 2 | 15,7 | ~ 75 | | |
| Chiron | 13,665 | 8,4 5 | 18, 77 | 0,3 82 | 6,9 | 148 ± 8 | 6,5 | 0,17 ± 0,02 |
| Hylonome | 24,94 | 18, 84 | 31, 04 | 0,2 4 | 4,1 | ~150 | | |
| 2000 QC 243 | 16,54 | 13, 17 | 19, 92 | 0,2 0 | 20,7 | ~190 | | |
| Pholus | 20,431 | 8,6 6 | 31, 93 | 0,5 73 | 24,7 | 190 ±22 | 7,0 | 0,04 ± 0,03 |
| Chariklo | 15,869 | 13, 10 | 18, 51 | 0,1 76 | 23,4 | 273 ± 19 | 6,4 | 0,055 ± 0,008 |

Sedna un Transnettuniano "sparso" (STNos)

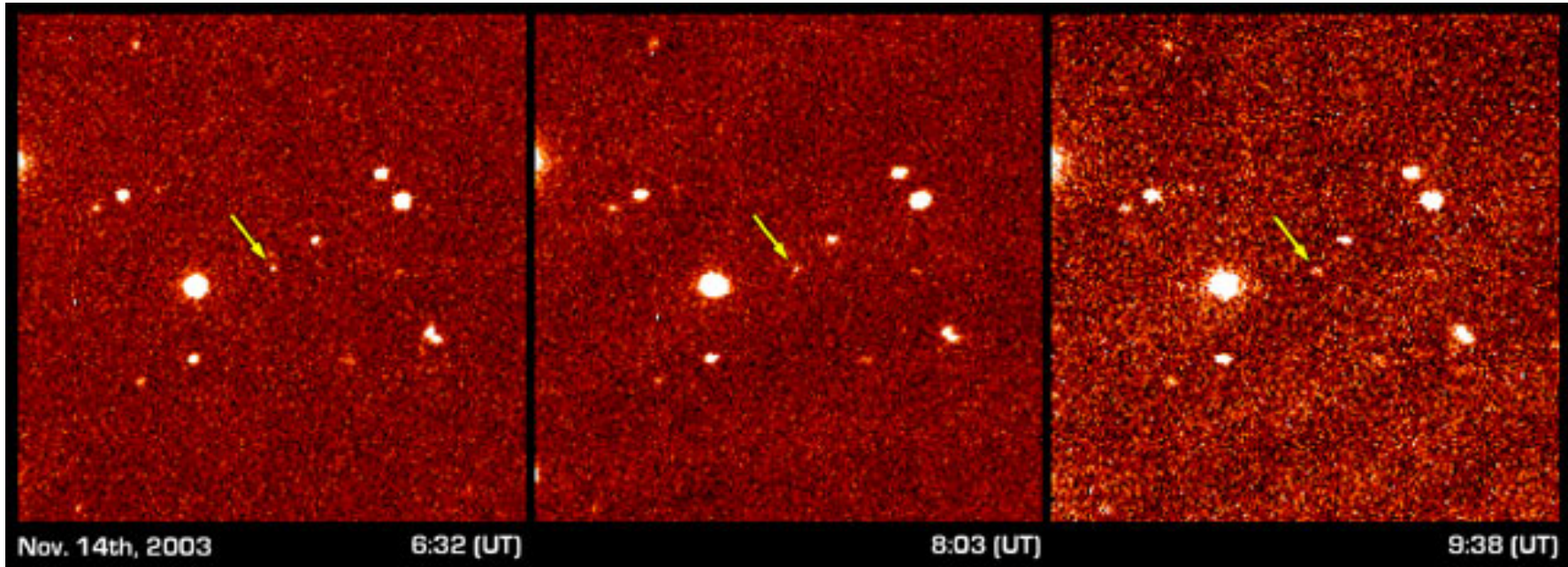


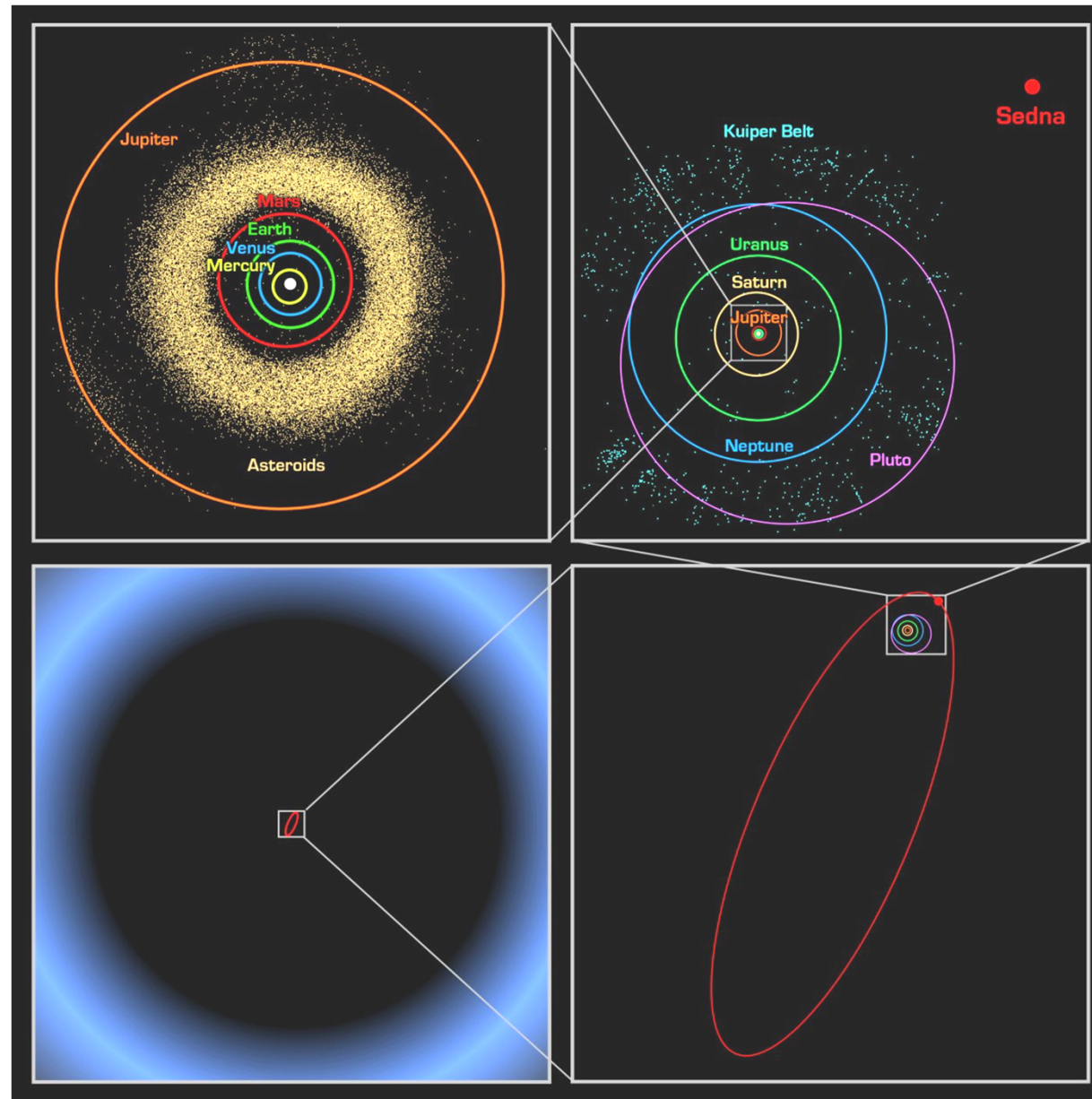
Immagine "vera" di Sedna ripresa al Samuel Oschin Telescope, **Sedna** è così chiamato in onore di una divinità Inuit (popolazioni di eschimesi che vivono nelle regioni artiche).

Sedna

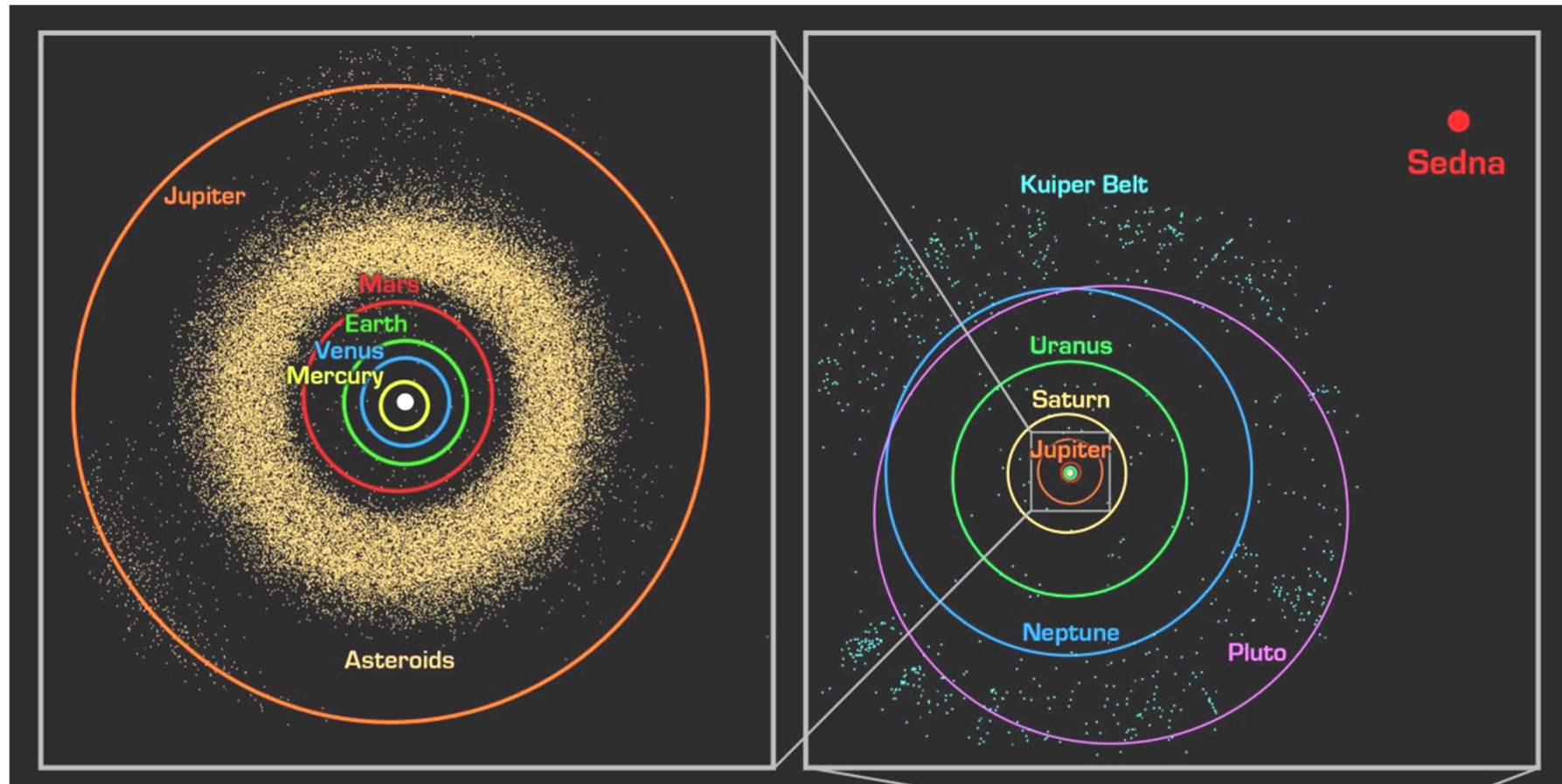


Ricostruzione delle dimensioni apparenti di Sedna confrontato con altri pianeti e lune del Sistema solare. **NB le immagini di Sedna e Quaoar sono ricostruzioni artistiche di fantasia.**

L'orbita di Sedna

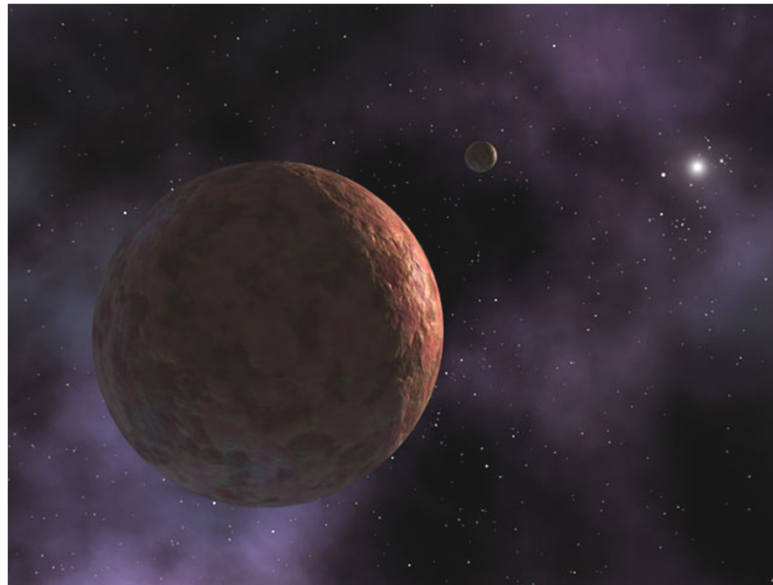


Sedna



Sedna è un corpo celeste molto freddo, -240°C in quanto molto distante dal Sole ad una distanza di circa 900 U.A. La sua principale caratteristica è quella di possedere un'orbita, attorno al Sole, fortemente ellittica con un periodo orbitale di 10500 anni.

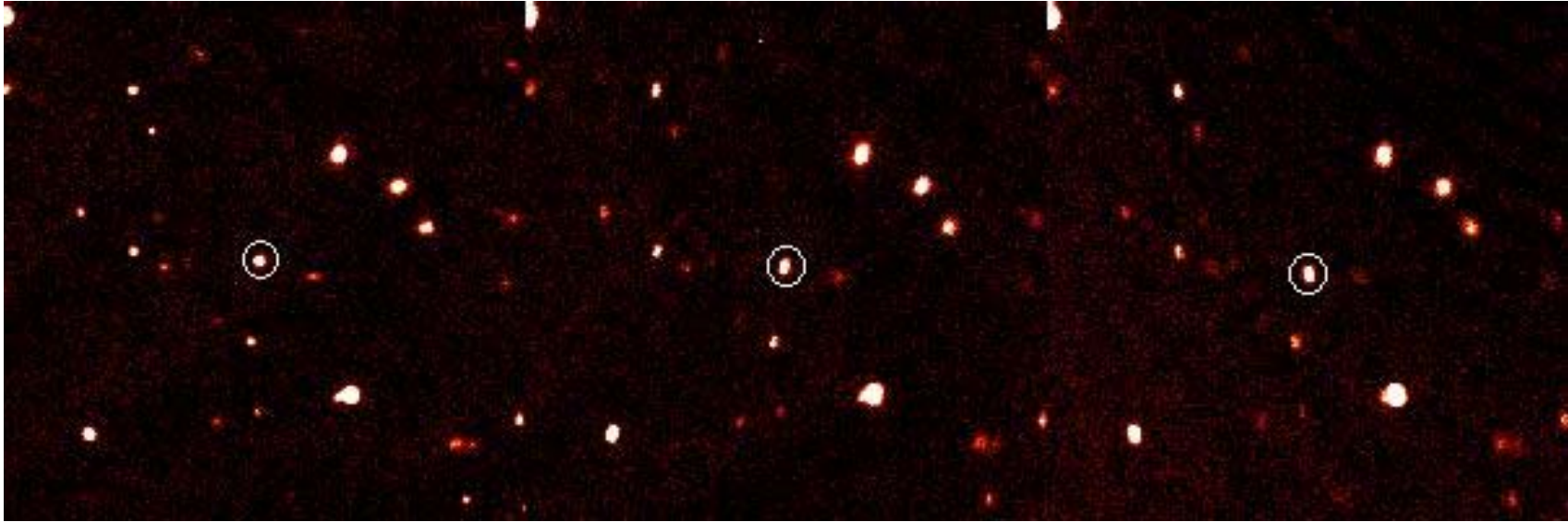
Sedna



Per **spiegare l'insolita orbita di Sedna** è stato proposto:

1. che possa essere stata perturbata, nei primi 100 milioni di anni dalla formazione del Sistema solare, dal passaggio di una stella vicina; un'altra stella formatasi dalla medesima nube interstellare che ha formato anche il Sistema solare (Hal Levison and Alessandro Morbidelli dell'Osservatorio della Costa Azzurra (OCA))
2. un'altra suggestiva possibilità è che Sedna si sia formata attorno ad una Nana Bruna 20 volte meno massiccia del Sole e poi catturata dal Sole durante un passaggio ravvicinato.

2003 UB313 il decimo pianeta ?



2003 UB313 è un oggetto trans-nettuniano (TNO) che gli astronomi californiani dell'osservatorio sul Monte Palomar descrivono come "sicuramente più grande" di Plutone. L'oggetto è stato soprannominato il **Decimo Pianeta** dagli astronomi che l'hanno individuato, dalla NASA e dai media, ma non è ancora chiaro se sarà ampiamente accettato come un nuovo pianeta oppure no.

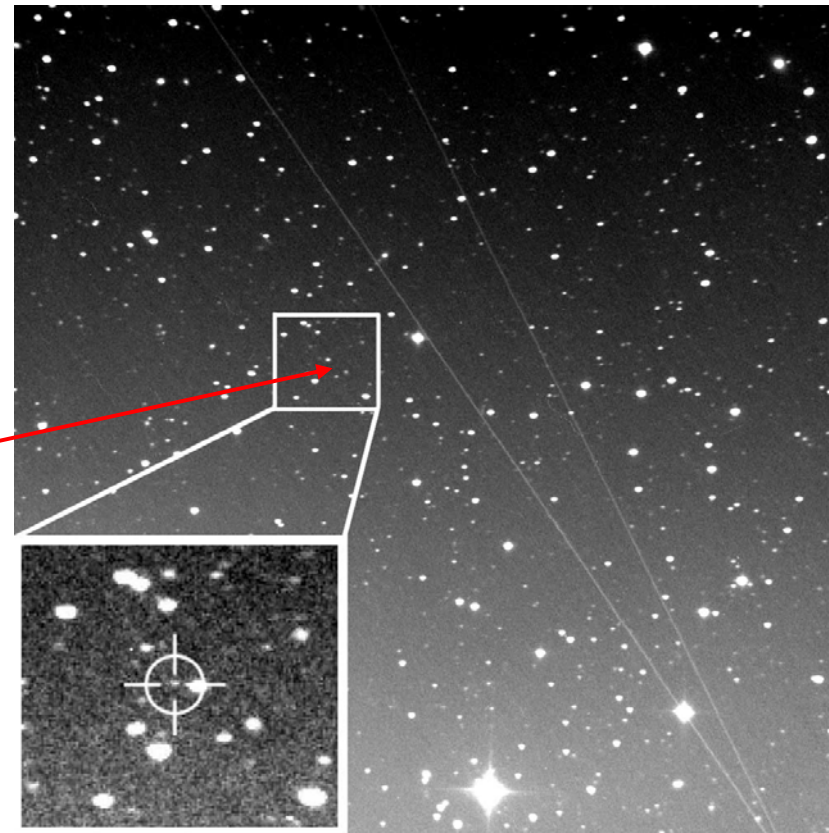
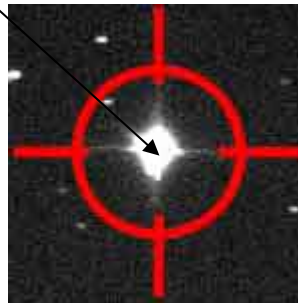
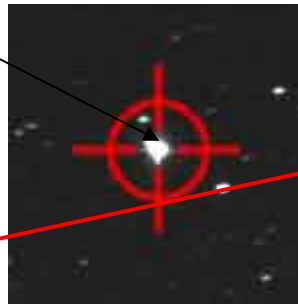
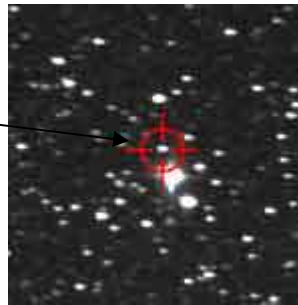
Nessun nome ufficiale è stato ancora approvato per l'oggetto.

2003 UB313 il decimo pianeta ?

Plutone,
Nettuno
e Urano,

ripresi la sera
dell'8 agosto dai
soci Luca Degano
e Giuseppe
Lombardi

A fianco
2003 UB313



La misura dell'albedo e la determinazione del diametro di 2003 UB313

| Tipo di superficie | Albedo | Diametro in km | Frazione delle dimensioni di Plutone |
|---------------------------------------|--------|----------------|--------------------------------------|
| sconosciuta | 100% | 2210 km | 97% |
| neve fresca | 90% | 2330 km | 102% |
| pack antartico | 80% | 2475 km | 108% |
| superficie simile a quella di Plutone | 60% | 2860 km | 125% |
| o di Caronte | 38% | 3550 km | 156% |

Parametri fisici ed orbitali di 2003 UB313

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Diametro | 3000 ± 300 km |
| Eccentricità | 0,438 |
| Inclinazione | 44,0° |
| Semiassse maggiore | 67,9 U.A. |
| Perielio | 38,2 U.A. |
| Afelio | 97,6 U.A. |
| Periodo orbitale | 557 anni |
| Albedo | 0,5-1,0 |
| Temperatura sup, media | ~30K |
| Magnitudine assoluta | -1,2 |

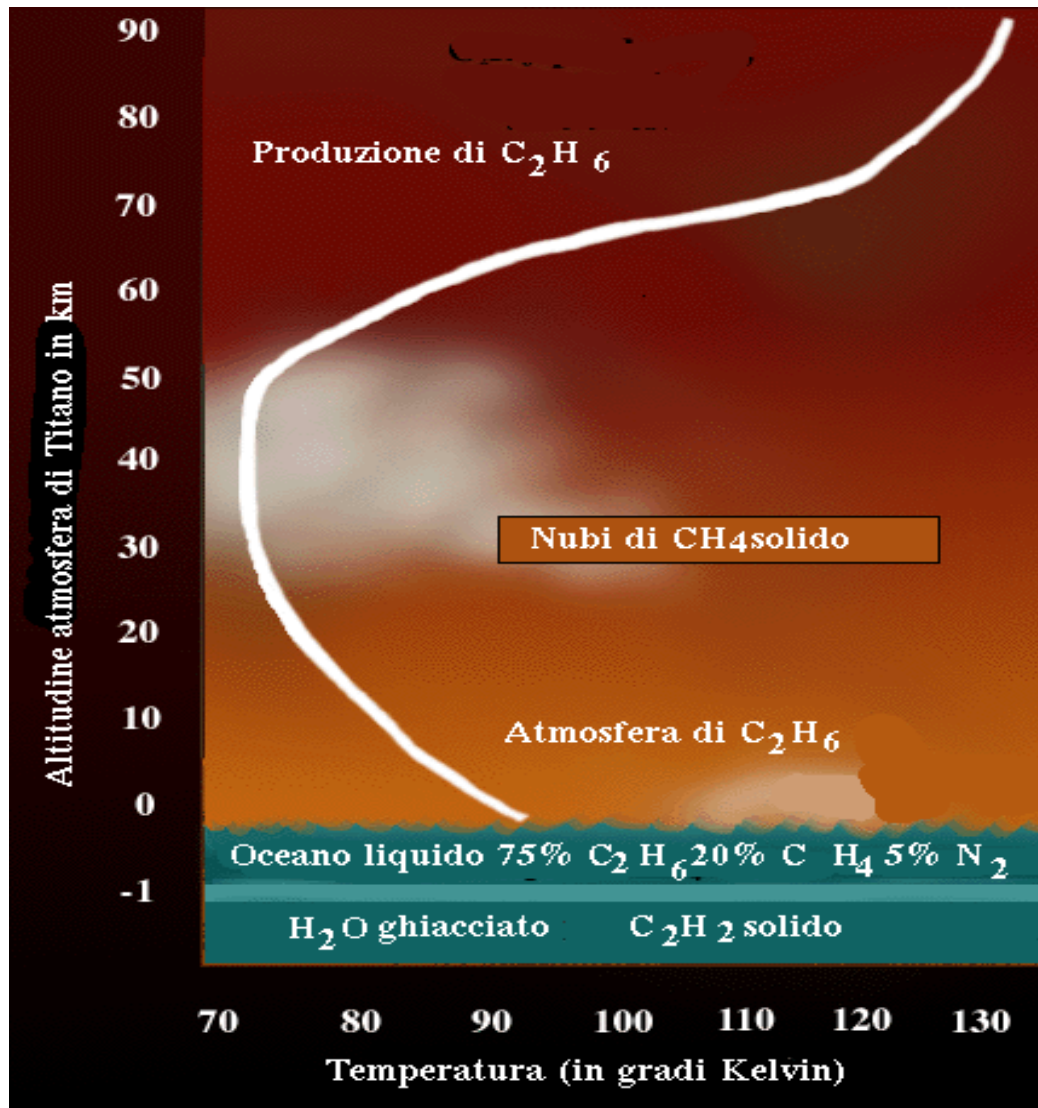


10 Settembre 2005 astronomi al Keck Observatory a Mauna Kea hanno osservato che 2003 UB313 presenta una luna. Il che permette una determinazione più accurata del diametro aumentandone il valore sino ad oltre 3000 km.

2003 UB313 confrontato con i Plutini e TNOs

| Oggetto | D [km] | H [mag] | Albedo | Tipo |
|-------------------|------------------------|-------------|------------------|----------------|
| 2003 UB313 | 2600? | -1,2 | 0,6? | STNO |
| Plutone | 2320 | -1,0 | 0,6 | Plutino |
| 2003 EL61 | 1200? | 0,4 | 0,6? | TNO |
| 2005 FY9 | 1250? | 0,3 | 0,6? | STNO |
| Caronte | 1270 | 1 | 0,4 | Plutino |
| Sedna | <1500? | 1,6 | 0,2? | STNO |
| 2004 DW | ~1500 | 2,2 | 0,04/0,12 | Plutino |
| Quaoar | 1200+/- 200 | 2,6 | 0,12 | TNO |
| Ixion | 1065+/ -165 | 3,2 | 0,09 | Plutino |
| 2002 AW197 | 890+/- 120 | 3,2 | 0,1 | STNO |
| Varuna | 900+/- 140 | 3,7 | 0,07+/-0,02 | TNO |

Titano-L'atmosfera struttura verticale



L'atmosfera è costituita da **due strati di nubi** a circa 200 e 300 km di altezza dalla sua superficie, La chimica complessa che vi si sviluppa è la probabile causa del suo colore arancione.

Alla superficie la pressione è di 1,5 bar (50 % maggiore di quella della Terra) mentre la temperatura superficiale è circa di $-179^\circ C$ per poi risalire a $-73^\circ C$ circa nella stratosfera.

Nel complesso la sua è l'atmosfera più simile a quella terrestre, Le sue condizioni attuali sembrano analoghe a quelle della Terra di miliardi di anni e quindi favorevoli allo sviluppo di composti organici quali gli acidi nucleici che poi hanno dato luogo ai primi sistemi viventi.

Nettuno e Tritone



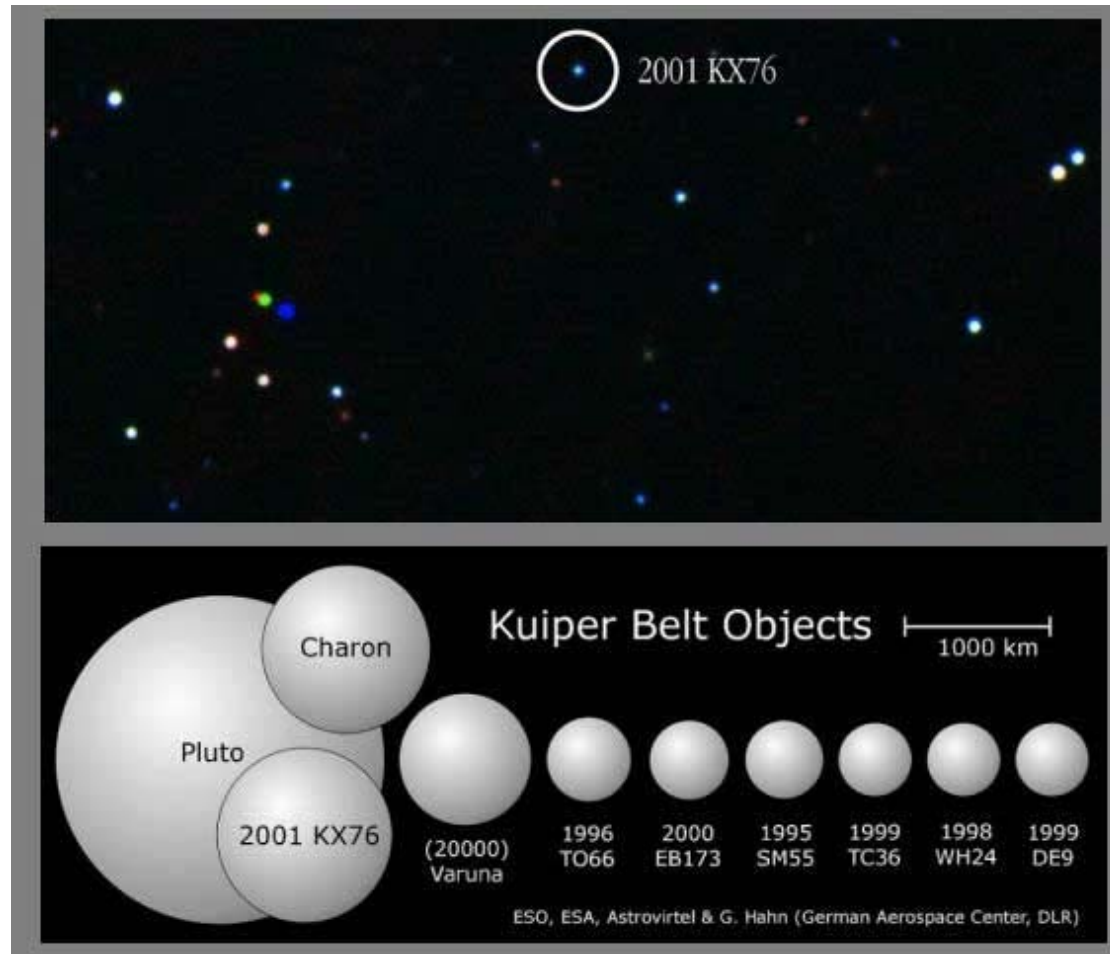
Nettuno ed il suo satellite Tritone visti dal telescopio spaziale HST,

Tritone

| Caratteristiche fisiche di Tritone | |
|--|---------------------------|
| Diametro medio | 2706,8 km |
| Massa | $2,147 \times 10^{22}$ kg |
| Densità media | 2,05 g/cm ³ |
| Gravità superficiale | 0,78 m/s ² |
| Periodo di rotazione | sincrona |
| Temperatura superficiale | ~34 K |
| Albedo | 0,7 |
| Caratteristiche atmosferiche di Tritone | |
| pressione atmosferica | 0,001 kPa |
| Azoto | 99,9% |
| Metano | 0,1% |



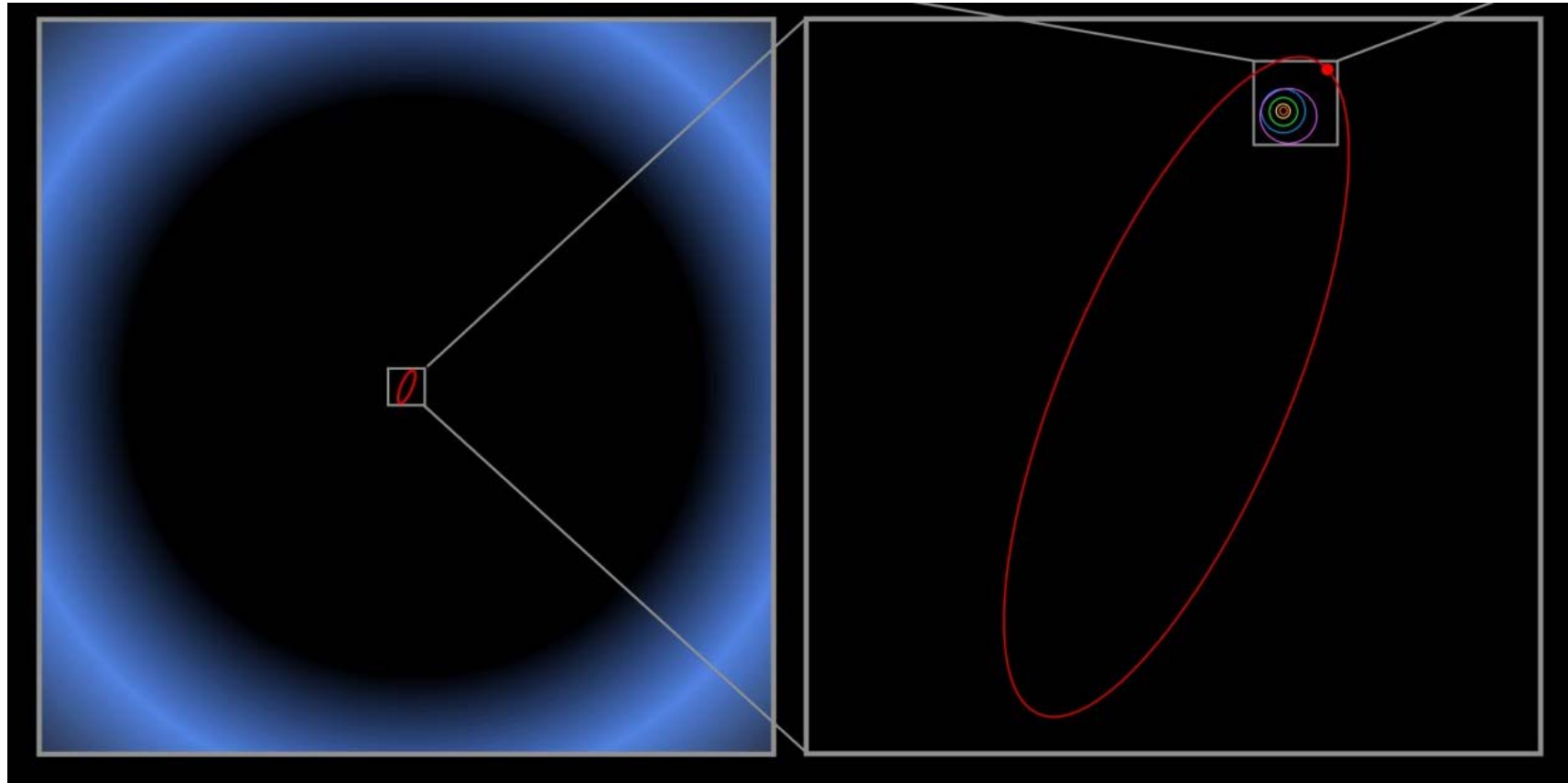
La presentazione è terminata



Grazie

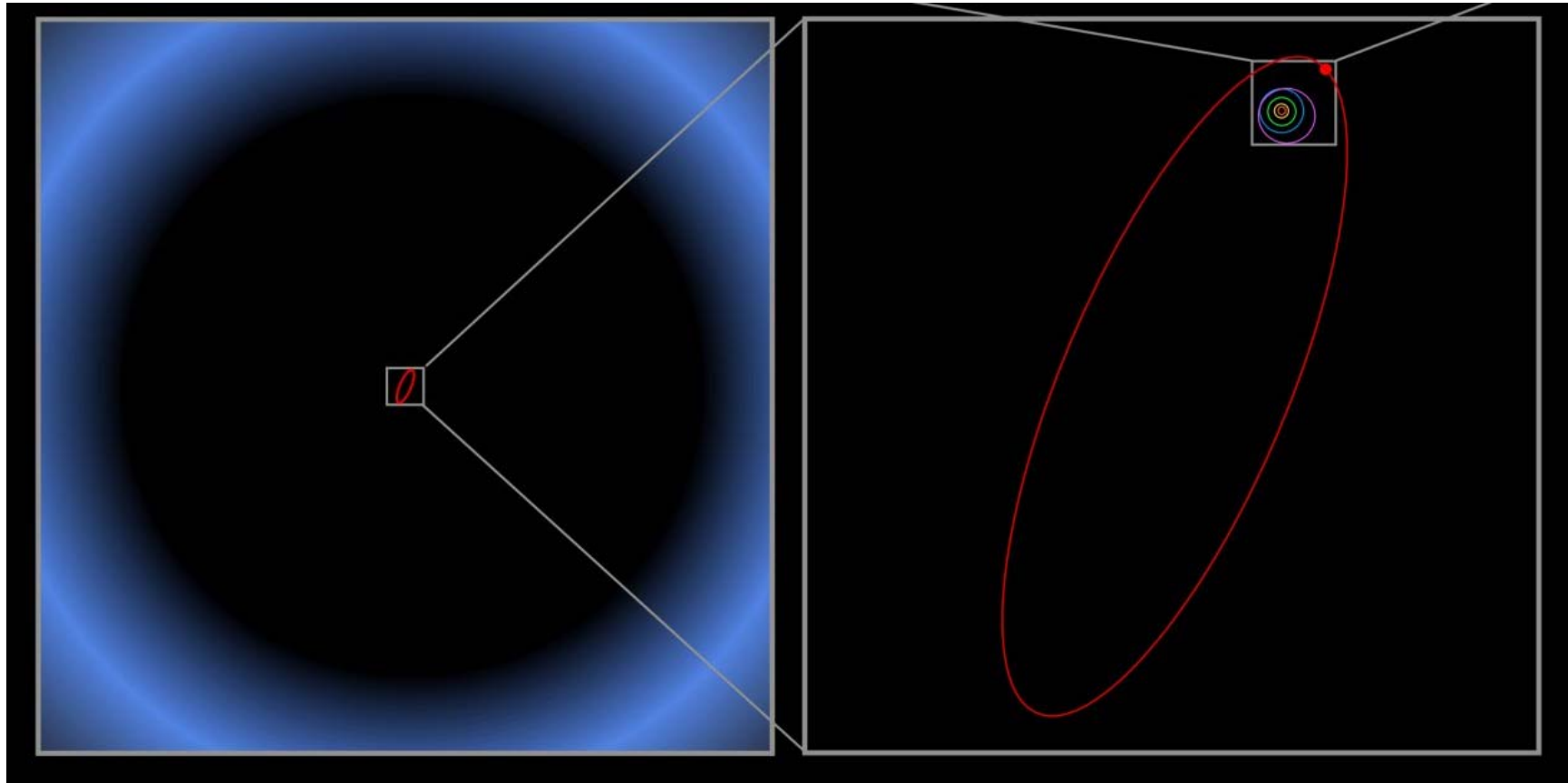
Roberto Bedogni

Transnettuniani o Plutini



La ricerca del decimo pianeta ha attratto gli astronomi sin dai primi anni del secolo scorso, In realtà più che aggiungere nuovi pianeti al Sistema solare si è compreso come sia meglio far riferimento ad una vera e propria categoria di nuovi oggetti celesti da aggiungere a quelli già noti, i "transnettuniani",

Transnettuniani o Plutini



Si tratta di corpi celesti solidi che orbitano a distanze di alcune decine di Unità Astronomiche oltre l'orbita di Nettuno ai quali è stato aggiunto pure Plutone "declassificandolo" dallo status di pianeta,

Transnettuniani o Plutini

La ricerca del decimo pianeta ha attratto gli astronomi sin dai primi anni del secolo scorso, In realtà più che aggiungere nuovi pianeti al Sistema solare si è compreso come sia meglio far riferimento ad una vera e propria categoria di nuovi oggetti celesti da aggiungere a quelli già noti, i "transnettuniani", Si tratta di corpi celesti solidi che orbitano a distanze di alcune decine di Unità Astronomiche oltre l'orbita di Nettuno ai quali è stato aggiunto pure Plutone "declassificandolo" dallo status di pianeta,

I Transnettuniani (TNO's)

| Oggetto | a (U,A) | e | i (°) | Diametro km | H (mag v ass) | Albedo | Tipo |
|------------------------|---------|-------|-------|-------------|---------------|-------------|---------|
| Huya | 39,719 | 0,281 | 15,5 | < 540 | 4,7 | > 0,08 | 3:2TNO |
| 1996 TL ₆₆ | 83,083 | 0,578 | 24,0 | ~632 | 5,4 | 0,03 | STNO |
| 1999 TC ₃₆ | 39,233 | 0,221 | 8,4 | ~609 | 4,9 | 0,05 ± 0,01 | 3:2bTNO |
| 1995 SM ₅₅ | 41,710 | 0,105 | 27,1 | < 701 | 4,8 | > 0,04 | TNO |
| Chaos | 45,715 | 0,105 | 12,1 | < 742 | 4,8 | > 0,04 | TNO |
| 2002 AW ₁₉₇ | 47,471 | 0,130 | 24,3 | 700 ± 50 | 3,3 | 0,17 ± 0,03 | 2:1TNO |
| 1996 TO ₆₆ | 43,139 | 0,121 | 27,5 | < 897 | 4,5 | > 0,04 | TNO |
| Ixion | 39,534 | 0,241 | 19,6 | < 804 | 3,2 | > 0,15 | 3:2TNO |
| Varuna | 43,070 | 0,051 | 17,2 | ~ 1060 | 3,7 | 0,038 | TNO |
| 2002 TX ₃₀₀ | 43,081 | 0,121 | 25,9 | < 1110 | 3,3 | > 0,06 | TNO |
| 2002 TC ₃₀₂ | 55,139 | 0,239 | 35,1 | < 1195 | 3,9 | > 0,04 | 5:2STNO |
| Caronte | 39,482 | 0,249 | 17,1 | 1250±50 | 1,0 | 0,38 | 3:2bTNO |
| Quaoar | 43,440 | 0,034 | 8,0 | 1260±190 | 2,6 | 0,101 | TNO |
| Sedna | 501 | 0,848 | 11,9 | < 1800 | 1,6 | | STNO |
| Plutone | 39,482 | 0,249 | 17,1 | 2345 ±55 | -1,0 | 0,44-0,61 | 3:2TNO |