

# Speleo Club di Cagliari



*Formule di:*

## *Astronomia*

*Valori caratteristici della Terra,  
della Luna, del Sole, della Galassia;  
informazioni, curiosità.*

*Paolo Salimbeni*



**Edizione 7E8<sub>03</sub>**

# Testi divulgativi

Prima edizione: 06 / 2005

Ultima edizione: 03 / 2024



## *Prefazione*

L'argomento di questa dispensa comprende sia alcuni valori caratteristici di vari astri sia alcune leggi fisiche sia svariate formule di **Astronomia**, con particolare riguardo e alla fisica terrestre ed al sistema solare.

Sono presenti anche alcuni valori caratteristici sia della **Terra** sia della **Luna** sia del **Sole** sia del **Sistema solare** sia della nostra **Galassia** sia dell'**Universo**; completano il lavoro le caratteristiche principali sia dei **planeti**, del nostro sistema solare e dei loro **satelliti**, sia alcune informazioni sugli **esopianeti**, e su eventuali **civiltà extraterrestri**, sia sulle **esolune**.

Si sono presentati, infine, ed alcuni sistemi cosmologici ed alcune curiosità.

L'Autore sarà grato a tutti quelli che gli segnaleranno eventuali od *errori* od *imprecisioni* (sono graditi anche e *consigli* e *opinioni*).

Paololuigi Salimbeni via P. Cavarò, 73 09131 Cagliari  
cellulare: +39 3493897629  
e-mail: [p.salimba@gmail.com](mailto:p.salimba@gmail.com)

Questa ed altre dispense, sempre dello stesso Autore, nel sito di **Paolo Salimbeni** «<http://www.paolosalimbeni.it>»; vedi in: **Dispense**.

Dello stesso Autore, e nel medesimo sito, alcune presentazioni in **PowerPoint**; vedi in: **Presentazioni**.



Paolo Salimbeni

## Copyright © Paolo Salimbeni

Tutti i diritti sono riservati, a norma di legge ed a norma delle convenzioni internazionali; nessuna parte dell'opera può essere riprodotta, tradotta o diffusa, in qualsiasi forma o sistema (per fotocopia, microfilm, supporti magnetici, o qualsiasi altro procedimento), o rielaborata o trasmessa, con l'uso di sistemi elettronici, senza l'autorizzazione scritta dell'autore. . . . **o no ?!**

All rights reserved, no part of this book may be reproduced, who may quote brief passages or reproduce illustrations in a review with appropriate credit; nor any part of this book be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means electronic, photocopying, recording, or other without permission in writing from the Author. . . . **or not ?!**

# Formule di Astronomia

## Alcuni valori caratteristici (e della Terra e della Luna e del Sole)

raggio medio terrestre	$R_{Tm}$	=	6 371 200 m
raggio medio lunare	$R_{Lm}$	=	1 738 000 m
raggio medio solare	$R_{Sm}$	=	696 000 000 m
massa della Terra	$M_T$	=	$5,976 \cdot 10^{24}$ kg
massa della Luna	$M_L$	=	$7,351 \cdot 10^{22}$ kg
massa del Sole	$M_S$	=	$1,990 \cdot 10^{30}$ kg
accelerazione di gravità sulla superficie terrestre	$g_{0T}$	=	$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
accelerazione di gravità sulla superficie lunare	$g_{0L}$	=	$1,62 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
accelerazione di gravità sulla superficie solare	$g_{0S}$	=	$273,95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
periodo di rotazione della Terra (giorno siderale)	$P_{rotT}$	=	86 164,091 <sup>s</sup>
periodo di rotazione della Luna	$P_{rotL}$	=	2 360 591,5 <sup>s</sup>
periodo di rotazione del Sole all'equatore	$P_{rotS}$	=	2 356 560,0 <sup>s</sup>
periodo di rivoluzione siderale della Terra (anno siderale)	$P_{rivT}$	=	31 558 149,504 <sup>s</sup>
periodo di rivoluzione siderale della Luna (mese lunare)	$P_{rivL}$	=	2 360 591,5 <sup>s</sup>

Costante di gravitazione universale  $G = 6,674\,28 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

Costante gravitazionale planetaria:  $\mu = G \cdot M$

In cui:  $G$  = costante gravitazionale universale –  $M$  = massa del corpo centrale.

Costante gravitazionale planetaria della Terra	$\mu_{0T} = 3,986\,000\,441\,8 \cdot 10^5 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria della Luna	$\mu_{0L} = 4,902\,778 \cdot 10^3 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria del Sole	$\mu_{0S} = 1,327\,124 \cdot 10^{11} \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria di Mercurio	$\mu_{0Me} = 2,203\,2 \cdot 10^4 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria di Venere	$\mu_{0Ve} = 3,248\,59 \cdot 10^5 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria di Marte	$\mu_{0Ma} = 4,282\,8 \cdot 10^4 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria di Giove	$\mu_{0Ma} = 1,266\,865\,34 \cdot 10^8 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria di Saturno	$\mu_{0Ma} = 3,793\,187 \cdot 10^7 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria di Urano	$\mu_{0Ma} = 5,793\,939 \cdot 10^6 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria di Nettuno	$\mu_{0Ma} = 6,836\,529 \cdot 10^6 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
Costante gravitazionale planetaria di Plutone	$\mu_{0Ma} = 8,71 \cdot 10^2 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$

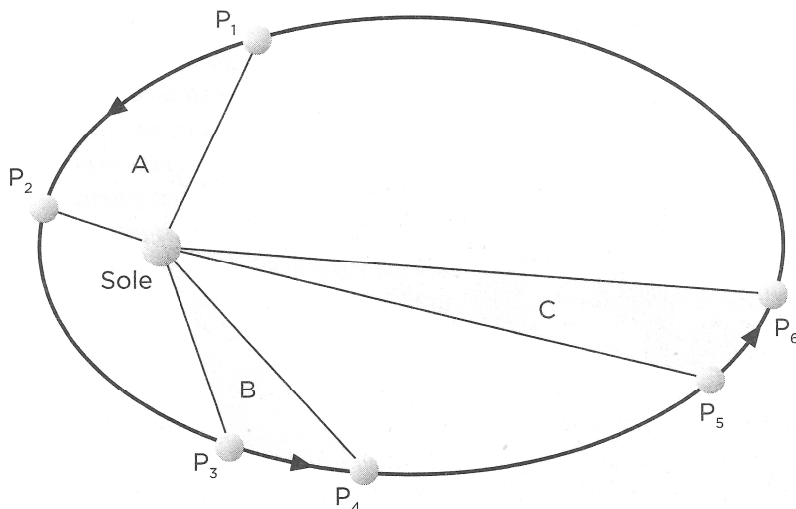
## Distanza fra i baricentri di alcuni corpi celesti

Terra – Luna	minima <sub>TL</sub>	$D_{TLp} = 3,629\,70 \cdot 10^8 \text{ m}$ (peregeo)
	media <sub>TL</sub>	$D_{TLm} = 3,843\,40 \cdot 10^8 \text{ m}$
	massima <sub>TL</sub>	$D_{TLa} = 4,057\,10 \cdot 10^8 \text{ m}$ (apogeo)
Terra – Sole	minima <sub>TS</sub>	$D_{TSp} = 1,471 \cdot 10^{11} \text{ m}$ (perielio)
	media <sub>TS</sub>	$D_{TSm} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
	massima <sub>TS</sub>	$D_{TSa} = 1,521 \cdot 10^{11} \text{ m}$ (afelio)

## Le tre leggi di Keplero

**Johannes Kepler** (1571 – 1630), in italiano **Giovanni Keplero**.

Astronomo, astrologo, matematico, cosmologo, teorico musicale, filosofo della natura, teologo luterano tedesco.



### Prima legge

L'orbita descritta da un pianeta è un'ellisse, di cui il **Sole** occupa uno dei due fuochi.

### Seconda legge

Si ha l'uguaglianza delle velocità angolari; il raggio vettore (segmento) che unisce il centro del Sole al centro di un pianeta, descrive aree uguali in tempi uguali.

### Terza legge

I quadrati dei periodi di rivoluzione dei pianeti sono proporzionali ai cubi della loro distanza media dal **Sole**.

$$\frac{a^3}{T^2} = K$$

**In cui:**  $a$  = semiasse maggiore (o raggio medio o distanza media del pianeta dal Sole) –  $T$  = periodo di rivoluzione –  $K$  = costante (dipende dal corpo celeste attorno al quale avviene il moto di rivoluzione).

## La legge di Hubble

la **Legge di Hubble**, scoperta dal ed astronomo ed astrofisico statunitense **Edwin Powell Hubble** (1889 – 1953) nel 1929, afferma che esiste una relazione lineare tra lo *spostamento verso il rosso* (chiamato anche *effetto batocromo* o, in inglese, *redshift*) della luce emessa dalle galassie e la loro distanza: tanto maggiore è la distanza della galassia e tanto maggiore sarà il suo redshift.

In forma matematica la **legge di Hubble** può essere espressa come:

$$z = \frac{H_0 \cdot D}{c}$$

**In cui:**  $z$  = redshift misurato della galassia –  $D$  = distanza, della galassia, dalla Terra –  $c$  = velocità della luce –  $H_0$  = **costante di Hubble**.

Si parla di **spostamento verso il rosso** quando, nell'osservare lo spettro della luce emessa o da *galassie* o da *quasar* o da *supernovae* lontane questo appare spostato verso frequenze « $v$ » minori, se confrontato con lo spettro dei corrispondenti più vicini.

$$z = \frac{v_{emessa} - v_{osservata}}{v_{osservata}} = \frac{v_{emessa}}{v_{osservata}} - 1$$

Il valore attualmente stimato è attorno a  $2,176 \cdot 10^{-18}$  Hz ( $67,15 \text{ km} \cdot \text{Mpc}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Tra gli oggetti astronomici propriamente detti, il *redshift* attualmente più grande confermato è quello della galassia **IOK-1** a 12,88 miliardi di anni luce dalla Terra, con  $z = 6,96$ , scoperta nel settembre del 2006 dall'astronomo giapponese **Masanori Iye**.

# Le principali formule di Astronomia

## Accelerazione centripeta di rotazione all'equatore: $Ac_{eX}$

$$Ac_{eX} = \left( \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotX}} \right)^2 \cdot R_{Xm} [a] \quad [01]$$

« $P_{rotX}$ » **Periodo di rotazione siderale**

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**

$$\text{Terra: } Ac_{eT} = \left( \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotT}} \right)^2 \cdot R_{Tm} [a] = \left( \frac{2 \cdot \pi}{86\,164,091} \right)^2 \cdot 6\,371\,200 = 0,033\,879 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Luna: } Ac_{eL} = \left( \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotL}} \right)^2 \cdot R_{Lm} [a] = \left( \frac{2 \cdot \pi}{2\,360\,591,5} \right)^2 \cdot 1\,738\,000 = 0,000\,012 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Sole: } Ac_{eS} = \left( \frac{2 \cdot \pi}{P_{rots}} \right)^2 \cdot R_{Sm} [a] = \left( \frac{2 \cdot \pi}{2\,356\,560,0} \right)^2 \cdot 696\,000\,000 = 0,004\,948 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

## Accelerazione centripeta di rotazione alla latitudine « $\varphi$ »: $Ac_{\varphi X}$

$$Ac_{\varphi X} = \left( \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotX}} \right)^2 \cdot R_{p\varphi X} [a] \quad [02]$$

« $P_{rotX}$ » **Periodo di rotazione siderale**

« $R_{p\varphi X}$ » **Raggio del parallelo alla latitudine  $\varphi$**

alla latitudine  $\varphi = \pm 45^\circ$

$$\text{Terra: } Ac_{45T} = \left( \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotT}} \right)^2 \cdot R_{p45T} [a] = \left( \frac{2 \cdot \pi}{86\,164,091} \right)^2 \cdot 4\,505\,118,724 = 0,023\,956 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Luna: } Ac_{45L} = \left( \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotL}} \right)^2 \cdot R_{p45L} [a] = \left( \frac{2 \cdot \pi}{2\,360\,591,5} \right)^2 \cdot 1\,228\,851,586 = 0,000\,009 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Considerando il Sole un corpo rigido, con periodo di rotazione uguale a  $P_{rots}$

$$\text{Sole: } Ac_{45S} = \left( \frac{2 \cdot \pi}{P_{rots}} \right)^2 \cdot R_{p45S} [a] = \left( \frac{2 \cdot \pi}{2\,356\,560} \right)^2 \cdot 492\,146\,319,706 = 0,003\,499 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

ai Poli  $\varphi = \pm 90^\circ$

$$\text{Terra e Luna e Sole: } Ac_{90T} = Ac_{90L} = Ac_{90S} = 0,000 \text{ (nulla)} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

## Accelerazione centripeta media di rivoluzione: $Ac_X$

$$Ac_X = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot D_{XYm}}{P_{rivX}^2} [a] = \frac{V_{OXm}^2}{D_{XYm}} [b] \quad [03]$$

« $D_{XYm}$ » **Distanza media fra i baricentri di due astri**

« $P_{rivX}$ » **Periodo di rivoluzione siderale**

« $V_{OXm}$ » **Velocità orbitale media**

$$\text{Terra: } a_T = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot D_{TSm}}{P_{rivT}^2} [a] = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 1,496 \cdot 10^{11}}{31\,558\,149,504^2} = 0,005\,930 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Luna: } a_L = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot D_{LSm}}{P_{rivL}^2} [a] = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 3,843 \cdot 10^8}{2\,360\,591,5^2} = 0,002\,723 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

## Accelerazione di gravità media alla quota $Q_0$ (sulla superficie): $g_{0X}$

$$g_{0X} = G \cdot \frac{M_X}{R_{Xm}^2} [a] \quad [04]$$

« $G$ » **Costante di gravitazione universale**

« $M_X$ » **Massa dell'astro**

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**

$$\text{Terra: } g_{0T} = G \cdot \frac{M_T}{R_{Tm}^2} [a] = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,976 \cdot 10^{24}}{6\,371\,200^2} = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Luna: } g_{0L} = G \cdot \frac{M_L}{R_{Lm}^2} [a] = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{7,351 \cdot 10^{22}}{1\,738\,000^2} = 1,62 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Sole: } g_{0S} = G \cdot \frac{M_S}{R_{Sm}^2} [a] = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1,990 \cdot 10^{30}}{696\,000\,000^2} = 274 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

### Accelerazione di gravità media alla quota $Q_h$ : $g_{QhX}$

$$g_{QhX} = g_{0X} \cdot \left( \frac{R_{Xm}}{Q_h + R_{Xm}} \right)^2 [a] \quad [05]$$

« $g_{0X}$ »      **Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**  
 « $R_{Xm}$ »      **Raggio medio dell'astro**

es.  $Q_h = Q_{0ST} = 35\,792\,926 \text{ m}$   
 (quota dell'orbita sincrona dalla superficie terrestre)

$$\text{Terra: } \begin{cases} g_{QhT} = g_{0T} \cdot \left( \frac{R_{Tm}}{Q_{0ST} + R_{Tm}} \right)^2 [a] = 9,81 \cdot \left( \frac{6\,371\,200}{35\,792\,926 + 6\,371\,200} \right)^2 \\ g_{QhT} = 9,81 \cdot 0,022\,833 = 0,224\,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{cases}$$

es.  $Q_h = Q_{aTL} = 339\,534\,800 \text{ m}$   
 (distanza del punto abarico medio *Terra - Luna* dalla superficie terrestre)

$$\text{Terra: } \begin{cases} g_{QhTL} = g_{0T} \cdot \left( \frac{R_{Tm}}{Q_{aTL} + R_{Tm}} \right)^2 [a] = 9,81 \cdot \left( \frac{6\,371\,200}{339\,534\,800 + 6\,371\,200} \right)^2 \\ g_{QhT} = 9,81 \cdot 0,000\,352 = 0,003\,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{cases}$$

es.  $Q_h = Q_{Lgs} = 86\,716\,120 \text{ m}$   
 (quota dell'orbita sincrona dalla superficie lunare)

$$\text{Luna: } \begin{cases} g_{QhL} = g_{0L} \cdot \left( \frac{R_{Lm}}{Q_{Lgs} + R_{Lm}} \right)^2 [a] = 1,62 \cdot \left( \frac{1\,738\,000}{86\,716\,120 + 1\,738\,000} \right)^2 \\ g_{QhL} = 1,62 \cdot 0,000\,386 = 0,000\,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{cases}$$

es.  $Q_h = Q_{aLT} = 36\,696\,000 \text{ m}$   
 (distanza del punto abarico medio *Luna - Terra* dalla superficie lunare)

$$\text{Luna: } \begin{cases} g_{QhLT} = g_{0L} \cdot \left( \frac{R_{Lm}}{Q_{aLT} + R_{Lm}} \right)^2 [a] = 1,62 \cdot \left( \frac{1\,738\,000}{36\,696\,000 + 1\,738\,000} \right)^2 \\ g_{QhLT} = 1,62 \cdot 0,002\,044 = 0,003\,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{cases}$$

es.  $Q_h = D_{Tsm} = 149\,600\,000\,000 \text{ m}$   
 (distanza media della Terra dalla superficie solare)

$$\text{Sole: } \begin{cases} g_{QhS} = g_{0S} \cdot \left( \frac{R_{Sm}}{D_{Tsm} + R_{Sm}} \right)^2 [a] = 274 \cdot \left( \frac{696\,000\,000}{149\,600\,000\,000 + 696\,000\,000} \right)^2 \\ g_{QhLT} = 274 \cdot 0,000\,021\,445 = 0,005\,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{cases}$$

es.  $Q_h = Q_{NSm} = 4\,504\,300\,000\,000 \text{ m}$   
 (distanza media di nettuno dalla superficie solare)

$$\text{Sole: } \begin{cases} g_{QhSN} = g_{0S} \cdot \left( \frac{R_{Sm}}{Q_{NSm} + R_{Sm}} \right)^2 [a] = 274 \cdot \left( \frac{696\,000\,000}{4\,504\,300\,000\,000 + 696\,000\,000} \right)^2 \\ g_{QhLT} = 274 \cdot 0,000\,000\,023\,869 = 0,000\,006 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{cases}$$

### Centro medio di massa fra due corpi celesti: $C_{XY}$

$$C_{XY} = \frac{D_{XYm}}{W_{XY}} [a] \quad [06]$$

« $D_{XYm}$ »      **Distanza media fra i baricentri di due astri**  
 « $W_{XY}$ »      **Rapporto fra le masse di due corpi**

**Centro medio di massa fra la *Terra* e la *Luna*:**

$$C_{XY} = \frac{D_{XYm}}{W_{XY}} [a] = \frac{3,843\,4 \cdot 10^8}{81,3} = 4,727 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{dal centro della Terra})$$

$$B_{TL} = 6\,371\,000 - 4\,727\,000 = 1\,644\,000 \text{ m} \quad (\text{sotto la superficie terrestre})$$

**Centro medio di massa fra il Sole e la Terra:**

$$C_{ST} = \frac{D_{Tsm}}{W_{ST}} [a] = \frac{1,496\,4 \cdot 10^{11}}{332\,999} = 449\,250\,m \quad (\text{dal centro del Sole})$$

$$B_{ST} = 696\,000\,000 - 449\,250 = 695\,550\,750\,m \quad (\text{sotto la superficie terrestre})$$

### **Circonferenza all'equatore: $C_{eX}$**

$$C_{eX} = 2 \cdot \pi \cdot R_{Xm} [a] \quad [07]$$

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**

$$\text{Terra: } C_{eT} = 2 \cdot \pi \cdot R_{Tm} [a] = 2 \cdot \pi \cdot 6\,371\,200 = 40\,031\,430\,229\,m$$

$$\text{Luna: } C_{eL} = 2 \cdot \pi \cdot R_{Lm} [a] = 2 \cdot \pi \cdot 1\,738\,000 = 10\,920\,176\,064\,m$$

$$\text{Sole: } C_{eS} = 2 \cdot \pi \cdot R_{Sm} [a] = 2 \cdot \pi \cdot 696\,000\,000 = 4\,373\,096\,973\,797\,m$$

### **Circonferenza del parallelo alla latitudine $\phi$ (considerando il corpo sferico): $CP_{\phi X}$**

$$CP_{\phi X} = 2 \cdot \pi \cdot R_{p\phi X} [a] \quad [08]$$

« $R_{p\phi X}$ » **Raggio del parallelo alla latitudine  $\phi$**

alla latitudine  $\phi = \pm 45^\circ$

$$\text{Terra: } CP_{45T} = 2 \cdot \pi \cdot R_{p45T} [a] = 2 \cdot \pi \cdot 4\,505\,118\,724 = 28\,306\,495,774\,m$$

$$\text{Luna: } CP_{45L} = 2 \cdot \pi \cdot R_{p45L} [a] = 2 \cdot \pi \cdot 1\,228\,951\,586 = 7\,721\,730,548\,m$$

$$\text{Sole: } CP_{45S} = 2 \cdot \pi \cdot R_{p45S} [a] = 2 \cdot \pi \cdot 492\,146\,319,706 = 3\,092\,246\,524,959\,m$$

ai poli  $\phi = \pm 90^\circ$

$$\text{Terra e Luna e Sole: } CP_{pT} = CP_{pL} = CP_{pS} = 0,000 \text{ (nulla) } m$$

### **Coefficiente di potenziale della forza centrifuga all'equatore: $mp_{Xe}$**

$$mp_{Xe} = \frac{\omega_X^2 \cdot R_{Xm}^2}{\mu_{0X}} [a] = \frac{\omega_X^2 \cdot R_{Xm}}{g_{0X}} [b] \quad [09]$$

« $\omega_X$ » **Velocità angolare di rotazione**

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**

« $\mu_{0X}$ » **Costante gravitazionale planetaria**

« $g_{0X}$ » **accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**

$$\text{Terra: } mp_{Te} = \frac{\omega_T^2 \cdot R_{Tm}^2}{GM_T} [a] = \frac{(7,292\,116 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 6\,371\,200^3}{3,986 \cdot 10^{14}} = 0,003\,450\,115$$

$$\text{Luna: } mp_{Le} = \frac{\omega_L^2 \cdot R_{Lm}^2}{GM_L} [a] = \frac{(2,661\,7 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1\,738\,000^3}{4,903 \cdot 10^{13}} = 0,000\,000\,758$$

### **Costante gravitazionale planetaria: $\mu_{0X}$**

$$\mu_{0X} = G \cdot M_X [a] = g_{0X} \cdot R_{Xm}^2 [b] \quad [10a]$$

$$\text{per orbite circolari: } \mu_{0X} = R_{Orb} \cdot V_{Oxw}^2 [c] = R_{Orb}^3 \cdot \omega_X^2 [d] = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R_{Orb}^3}{P_X} [e] \quad [10b]$$

$$\text{per orbite ellittiche: } \mu_{0X} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot a^3}{P_X^2} [f] \quad [10c]$$

« $G$ » **Costante gravitazionale universale**

« $M_X$ » **Massa dell'astro**

« $g_{0X}$ » **Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**

« $R_{Orb}$ » **Raggio dell'orbita**

« $V_{Oxw}$ » **Velocità orbitale**

« $P_X$ » **Periodo orbitale**

« $a$ » **Semiasse maggiore**

$$\text{Terra: } \mu_{0T} = G \cdot M_T [a] = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,976 \cdot 10^{24} = 3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Luna: } \mu_{0L} = G \cdot M_L [a] = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 7,351 \cdot 10^{22} = 4,903 \cdot 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Sole: } \mu_{0S} = G \cdot M_S [a] = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,990 \cdot 10^{30} = 1,327 \cdot 10^{20} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

**Costante gravitazionale universale: G**

$$G = \frac{R_{Xm}^2}{M_X} \cdot g_{0X} [a] \quad [11]$$

« $R_{Xm}$ »**Raggio medio dell'astro**« $M_X$ »**Massa dell'astro**« $g_{0X}$ »**Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**

$$\text{Terra: } G \frac{R_{Tm}^2}{M_T} \cdot g_{0T} [a] = \frac{6\,371\,200^2}{5,976^{24}} \cdot 9,81 = 6,63 \cdot 10^{-11}$$

$$\text{Luna: } G \frac{R_{Lm}^2}{M_L} \cdot g_{0L} [a] = \frac{1\,738\,000^2}{7,351^{22}} \cdot 1,62 = 6,66 \cdot 10^{-11}$$

$$\text{Sole: } G \frac{R_{Sm}^2}{M_S} \cdot g_{0S} [a] = \frac{696\,000\,000^2}{1,990^{30}} \cdot 274 = 6,67 \cdot 10^{-11}$$

Le approssimazioni inevitabilmente introdotte nei valori:  $R_{Tm}$ ,  $R_{Lm}$ ,  $R_{Sm}$ ,  $M_T$ ,  $M_L$ ,  $M_S$ ,  $g_{0T}$ ,  $g_{0L}$ ,  $g_{0S}$ , portano a risultati, del valore di «G», leggermente diversi da quelli calcolati per altre vie più attendibili; il suo valore reale è:  $G = 6,674\,28 \cdot 10^{-11}$ .

**Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale, fra due astri:  $Xg_{XY}$** 

$$Xg_{XY} = D_{XYm} \cdot \frac{W_{XY} - \sqrt{W_{XY}}}{W_{XY} - 1} [a] = D_{XYm} \cdot \frac{\sqrt{W_{XY}}}{\sqrt{W_{XY}} + 1} [b] \quad [12]$$

« $D_{XYm}$ »**Distanza media fra i baricentri di due astri**« $W_{XY}$ »**Rapporto fra le masse di due corpi**

fra Terra e Luna (punto neutro contato dal centro della Terra)

$$\text{Terra - Luna: } \begin{cases} Xg_{TL} = D_{TLm} \cdot \frac{W_{TL} - \sqrt{W_{TL}}}{W_{TL} - 1} [a] = 3,843\,4 \cdot 10^8 \cdot \frac{81,3 - \sqrt{81,3}}{81,3 - 1} \\ Xg_{TL} = 3,843\,4 \cdot 10^8 \cdot 0,900 = 3,459\,060 \cdot 10^8 \text{ m} \end{cases}$$

$Qa_{TL} = 339\,534\,800 \text{ m}$  (quota del punto neutro dalla superficie terrestre)

$Xg_{LT} = 38\,434\,000 \text{ m}$  (distanza del punto neutro dal centro della Luna)

$Qa_{LT} = 36\,696\,000 \text{ m}$  (quota del punto neutro dalla superficie Lunare)

fra Terra e Sole (punto neutro contato dal centro della Terra)

$$\text{Terra - Sole: } \begin{cases} Xg_{TS} = D_{Tsm} \cdot \frac{W_{TS} - \sqrt{W_{TS}}}{W_{TS} - 1} [a] = 1,496 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\frac{1}{332\,999} - \sqrt{\frac{1}{332\,999}}}{\frac{1}{332\,999} - 1} \\ Xg_{TS} = 1,496 \cdot 10^{11} \cdot 0,001\,730 = 2,588\,808 \cdot 10^8 \text{ m} \end{cases}$$

$Qa_{TS} = 252\,436\,800 \text{ m}$  (quota del punto neutro dalla superficie terrestre)

$Xg_{ST} = 1,493\,412 \cdot 10^{11} \text{ m}$  (distanza del punto neutro dal centro del Sole)

$Qa_{ST} = 1,486\,452 \cdot 10^{11} \text{ m}$  (quota del punto neutro dalla superficie Solare)

**Eccentricità orbitale:  $E_x$** 

$$E_{XY} = \frac{D_{XYm} - D_{XYP}}{D_{XYm}} [a] \quad [13]$$

« $D_{XYm}$ »**Distanza media fra i baricentri di due astri**« $D_{XYP}$ »**Distanza minima fra i baricentri di due astri**

$$\text{Terra - Sole: } E_{TS} = \frac{D_{Tsm} - D_{Tsp}}{D_{Tsm}} [a] = \frac{1,496 \cdot 10^{11} - 1,471 \cdot 10^{11}}{1,496 \cdot 10^{11}} = 0,016\,7$$

$$\text{Luna - Terra: } E_{LT} = \frac{D_{LTm} - D_{LTP}}{D_{LTm}} [a] = \frac{3,843 \cdot 10^8 - 3,629 \cdot 10^8}{3,843 \cdot 10^8} = 0,055\,4$$

**Energia cinetica rotazionale:  $Ecr_{Xx}$** 

$$Ecr_{Xx} = \frac{I_X \cdot \omega_X^2}{2} [a] \quad [14]$$

« $I_X$ »**Momento principale d'inerzia**« $\omega_X$ »**Velocità angolare di rotazione**

reale

$$\text{Terra: } Ecr_{Tr} = \frac{I_{Tr} \cdot \omega_T^2}{2} [a] = \frac{8,026 \cdot 10^{37} \cdot (7,292\,116 \cdot 10^{-5})^2}{2} = 2,134 \cdot 10^{29} \text{ J}$$



teorica

$$\text{Terra: } E_{CrTt} = \frac{I_{Tt} \cdot \omega_T^2}{2} [a] = \frac{9,703 \cdot 10^{37} \cdot (7,292 \cdot 10^{-5})^2}{2} = 2,580 \cdot 10^{29} \text{ J}$$

teorica

$$\text{Luna: } E_{CrLt} = \frac{I_{Lt} \cdot \omega_L^2}{2} [a] = \frac{8,882 \cdot 10^{34} \cdot (2,661 \cdot 10^{-6})^2}{2} = 3,146 \cdot 10^{23} \text{ J}$$

teorica (considerando il corpo rigido)

$$\text{Sole: } E_{CrSt} = \frac{I_{St} \cdot \omega_S^2}{2} [a] = \frac{2,306 \cdot 10^{47} \cdot (2,666 \cdot 10^{-6})^2}{2} = 1,639 \cdot 10^{36} \text{ J}$$

**Energia cinetica totale, di una massa unitaria Mu sulla superficie,  
alla latitudine  $\phi$ :  $E_{tX\phi}$**

$$E_{tX\phi} = E_{CrXx} + E_{ctX\phi} [a]$$

[15]

« $E_{CrXx}$ » **Energia cinetica rotazionale**

« $E_{ctX\phi}$ » **Energia cinetica traslazionale, di una massa Mu, alla latitudine  $\phi$**

all'equatore  $\phi = 0^\circ$

reale

$$\text{Terra: } E_{tT0} = E_{CrTr} + E_{ctT0} [a] = 2,134 \cdot 10^{29} + 10\,7917,753 = 2,134 \cdot 10^{29} \text{ J}$$

teorica

$$\text{Terra: } E_{tT0} = E_{CrTt} + E_{ctT0} [a] = 2,580 \cdot 10^{29} + 10\,7917,753 = 2,580 \cdot 10^{29} \text{ J}$$

teorica

$$\text{Luna: } E_{tLt0} = E_{CrLt} + E_{ctL0} [a] = 3,146 \cdot 10^{23} + 10,999 = 3,146 \cdot 10^{23} \text{ J}$$

Teorica (considerando il corpo rigido)

$$\text{Sole: } E_{tSt0} = E_{CrSt} + E_{ctS0} [a] = 1,639 \cdot 10^{36} + 1\,721\,833,513 = 1,639 \cdot 10^{36} \text{ J}$$

a  $\phi = \pm 45^\circ$

reale

$$\text{Terra: } E_{tT45} = E_{CrTr} + E_{ctT45} [a] = 2,134 \cdot 10^{29} + 53\,962,038 = 2,134 \cdot 10^{29} \text{ J}$$

teorica

$$\text{Terra: } E_{tT45} = E_{CrTt} + E_{ctT45} [a] = 2,580 \cdot 10^{29} + 53\,962,038 = 2,580 \cdot 10^{29} \text{ J}$$

teorica

$$\text{Luna: } E_{tLt45} = E_{CrLt} + E_{ctL45} [a] = 3,146 \cdot 10^{23} + 5,350 = 3,146 \cdot 10^{23} \text{ J}$$

Teorica (considerando il corpo rigido)

$$\text{Sole: } E_{tSt45} = E_{CrSt} + E_{ctS45} [a] = 1,639 \cdot 10^{36} + 860\,917,361 = 1,639 \cdot 10^{36} \text{ J}$$

**Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria Mu,  
alla latitudine  $\phi$ :  $E_{ctX\phi}$**

$$E_{ctX\phi} = \frac{Mu \cdot v_{\phi X}^2}{2} [a]$$

[16]

« $v_{\phi X}$ »

**Velocità tangenziale di rotazione alla latitudine  $\phi$**

all'equatore  $\phi = 0^\circ$

$$\text{Terra: } E_{ctT0} = \frac{Mu \cdot v_{eT}^2}{2} [a] = \frac{1 \cdot 464,581^2}{2} = 107\,917,753 \text{ J}$$

$$\text{Terra: } E_{ctL0} = \frac{Mu \cdot v_{eL}^2}{2} [a] = \frac{1 \cdot 4,626^2}{2} = 10,999 \text{ J}$$

Considerando il corpo rigido

$$\text{Sole: } E_{ctS0} = \frac{Mu \cdot v_{eS}^2}{2} [a] = \frac{1 \cdot 1\,855,712^2}{2} = 1\,721\,833,513 \text{ J}$$

alla latitudine  $\phi = \pm 45^\circ$

$$\text{Terra: } Ect_{T45} = \frac{Mu \cdot v_{45T}^2}{2} [a] = \frac{1 \cdot 328,518^2}{2} = 53\,962,038 \text{ J}$$

$$\text{Luna: } Ect_{L45} = \frac{Mu \cdot v_{45L}^2}{2} [a] = \frac{1 \cdot 3,271^2}{2} = 5,350 \text{ J}$$

Considerando il corpo rigido

$$\text{Terra: } Ect_{S45} = \frac{Mu \cdot v_{45S}^2}{2} [a] = \frac{1 \cdot 1\,312,187^2}{2} = 860\,917,361 \text{ J}$$

Come si evince dai risultati l'apporto dell'**Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria Mu, alla latitudine  $\phi$** , è affatto trascurabile.

### Forza di attrazione fra due astri, alla distanza media: $F_{XY}$

$$F_{XY} = G \cdot \frac{M_{X1} \cdot M_{X2}}{D_{XYm}} [a] \quad [17]$$

«G» Costante di gravitazione universale  
 « $M_{X1}$ » Massa del primo astro  
 « $M_{X2}$ » Massa del secondo astro  
 « $D_{XYm}$ » Distanza media fra i baricentri dei due corpi

fra Terra e Luna: (alla distanza media)

$$\text{Terra - Luna: } \begin{cases} F_{TL} = G \cdot \frac{M_T \cdot M_L}{D_{TLm}} [a] = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{5,976 \cdot 10^{24} \cdot 7,352 \cdot 10^{22}}{(3,843 \cdot 10^8)^2} \\ F_{TL} = 1,984 \cdot 10^{20} \text{ N} \end{cases}$$

fra Terra e Sole: (alla distanza media)

$$\text{Terra - Luna: } \begin{cases} F_{TL} = G \cdot \frac{M_S \cdot M_T}{D_{STm}} [a] = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1,990 \cdot 10^{30} \cdot 5,976 \cdot 10^{24}}{(1,496 \cdot 10^{11})^2} \\ F_{TL} = 3,544 \cdot 10^{22} \text{ N} \end{cases}$$

### Lunghezza approssimata dell'orbita di rivoluzione: $L_{Orx}$

$$L_{OrX} = 2 \cdot \pi \cdot D_{XYm} [a] \quad [18a]$$

$$L_{OrX} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot ((D_{XYa})^2 + (D_{XYb})^2)} [b] \quad [18b]$$

« $D_{XYm}$ » Distanza media fra i baricentri di due astri  
 « $D_{XYa}$ » Distanza massima fra i baricentri di due corpi  
 « $D_{XYp}$ » Distanza minima fra i baricentri di due corpi

$$\text{Terra: } L_{OrT} = 2 \cdot \pi \cdot D_{TSm} [a] = 2 \cdot \pi \cdot 1,496^{11} = 9,400 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$\text{Luna: } L_{OrL} = 2 \cdot \pi \cdot D_{TLm} [a] = 2 \cdot \pi \cdot 3,843\,4 \cdot 10^8 = 2,400 \cdot 10^9 \text{ m}$$

La [18b] è più approssimata, ma sia la [18a] sia la [18b] forniscono, comunque, un risultato di larga massima per cui, in fine, potendosi utilizzare poche cifre significative, i valori coincidono.

### Massa di alcuni astri: $M_x$

$$M_X = \frac{g_{0X} \cdot R_{Xm}^2}{G} [a] = \frac{\mu_{0X}}{G} [b] \quad [19]$$

« $g_{0X}$ » Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro  
 « $R_{Xm}$ » Raggio medio dell'astro  
 «G» Costante di gravitazione universale  
 « $\mu_{0X}$ » Costante gravitazionale geocentrica

$$\text{Terra: } M_T = \frac{g_{0T} \cdot R_{Tm}^2}{G} [a] = \frac{9,81 \cdot 6\,371\,200^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} = 5,970 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$\text{Luna: } M_L = \frac{g_{0L} \cdot R_{Lm}^2}{G} [a] = \frac{1,62 \cdot 1\,738\,000^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} = 7,336 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

$$\text{Sole: } M_S = \frac{g_{0S} \cdot R_{Sm}^2}{G} [a] = \frac{274 \cdot 696\,000\,000^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} = 1,990 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

Le approssimazioni inevitabilmente introdotte nei valori:  $g_{0T}$ ,  $g_{0L}$ ,  $g_{0S}$ ,  $R_{Tm}$ ,  $R_{Lm}$ ,  $R_{Sm}$ , portano a risultati leggermente diversi da quelli calcolati per altre vie più attendibili; noi pertanto, abbiamo utilizzato e utilizzeremo questi ultimi valori: vedi «**Alcuni valori caratteristici**» a pagina 3.

### Massa (conoscendo la quota $Q_h$ ed il periodo orbitale $P_{rivX}$ di un'astro): $M_X$

$$M_X = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot (Q_h + R_{Xm})^3}{G \cdot P_{rivX}^2} [a] \quad [20]$$

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**  
 « $G$ » **Costante di gravitazione universale**  
 « $P_{rivX}$ » **Periodo di rivoluzione siderale**

es.  $Q_h = Q_{0ST} = 35\,792\,926 \text{ m}$  (quota dell'orbita sincrona)  
 $P_{rivT} = 86\,164.091 \text{ s}$  (periodo di rivoluzione siderale)

$$\text{Terra: } M_T = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot (Q_{0ST} + R_{Tm})^3}{G \cdot P_{rivT}^2} [a] = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot (35\,792\,926 + 6\,371\,200)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 31\,558\,149,504^2} = 5,976 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

es.  $Q_h = Q_{0SL} = 86\,716\,120 \text{ m}$  (quota dell'orbita sincrona)  
 $P_{rivL} = 2\,360\,591.5 \text{ s}$  (periodo di rivoluzione siderale)

$$\text{Luna: } M_L = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot (Q_{0SL} + R_{Lm})^3}{G \cdot P_{rivL}^2} [a] = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot (86\,716\,120 + 1\,738\,000)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 2\,360\,591,5^2} = 7,351 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

### Massa volumica media (densità media): $d_{mvX}$

$$d_{mvX} = \frac{M_X}{V_X} [a] \quad [21]$$

« $M_X$ » **Massa dell'astro**  
 « $V_X$ » **Volume dell'astro**

$$\text{Terra: } d_{mvT} = \frac{M_T}{V_T} [a] = \frac{5,976 \cdot 10^{24}}{1,083 \cdot 10^{21}} = 5\,518 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{Luna: } d_{mvL} = \frac{M_L}{V_L} [a] = \frac{7,351 \cdot 10^{22}}{2,199 \cdot 10^{19}} = 3\,343 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{Sole: } d_{mvS} = \frac{M_S}{V_S} [a] = \frac{1,990 \cdot 10^{30}}{1,412 \cdot 10^{27}} = 1\,409 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

### Momento principale d'inerzia dell'astro: $I_{XX}$

$$I_{XX} = \frac{2}{5} \cdot M_X \cdot R_{Xm}^2 [a] \quad (\text{per una sfera omogenea e rigida}) \quad [22]$$

« $M_X$ » **Massa dell'astro**  
 « $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**  
**reale**

$$\text{Terra: } \begin{cases} I_{Tr} = 0,330\,85 \cdot M_T \cdot R_{Tm}^2 = 0,330\,85 \cdot 5,976 \cdot 10^{24} \cdot 6\,371\,200^2 \\ I_{Tr} = 8,026 \cdot 10^{37} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{cases}$$

**teorico**

$$\text{Terra: } \begin{cases} I_{Tr} = \frac{2}{5} \cdot M_T \cdot R_{Tm}^2 = 0,4 \cdot 5,976 \cdot 10^{24} \cdot 6\,371\,200^2 \\ I_{Tr} = 9,703 \cdot 10^{37} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{cases}$$

**teorico**

$$\text{Luna: } \begin{cases} I_{Lr} = \frac{2}{5} \cdot M_L \cdot R_{Lm}^2 = 0,4 \cdot 7,351 \cdot 10^{22} \cdot 1\,738\,000^2 \\ I_{Lr} = 8,882 \cdot 10^{34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{cases}$$

**Teorico (considerando il corpo rigido)**

$$\text{Sole: } \begin{cases} I_{Sr} = \frac{2}{5} \cdot M_S \cdot R_{Sm}^2 = 0,4 \cdot 1,990 \cdot 10^{30} \cdot 696\,000\,000^2 \\ I_{Sr} = 3,856 \cdot 10^{47} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{cases}$$

### Periodo di rotazione siderale (o sidereo): $P_{rotXe}$

$$P_{rotXe} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{Xm}}{v_{eX}} [a] \quad [23]$$

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**

« $v_{eX}$ »**Velocità tangenziale di rotazione all'equatore**

$$\text{Terza: } P_{\text{rotTe}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{Tm}}}{v_{eT}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 6\,371\,200}{464,581} = 86\,166,740 \text{ s}$$

$$\text{Luna: } P_{\text{rotLe}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{Lm}}}{v_{eL}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1\,738\,000}{4,626} = 2\,360\,608,747 \text{ s}$$

All'equatore (considerando il corpo rigido)

$$\text{Sole: } P_{\text{rotSe}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{Sm}}}{v_{eS}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 696\,000\,000}{1\,855,712} = 2\,356\,560,163 \text{ s} \quad (\text{all'equatore})$$

Le approssimazioni introdotte nei valori:  $R_{\text{Tm}}$ ,  $v_{eX}$ , portano a risultati leggermente diversi da quelli calcolati considerando misure più precise.

**Periodo di rotazione sinodico:  $\Psi_{\text{rotXe}}$** 

$$\Psi_{\text{rotXe}} = \frac{P_{\text{rotXe}}}{1 - \frac{P_{\text{rotXe}}}{P_{\text{rotTe}}}} [a] \quad (\text{per i pianeti interni}) \quad [24a]$$

$$\Psi_{\text{rotXe}} = \frac{P_{\text{rotXe}}}{\frac{P_{\text{rotXe}}}{P_{\text{rotTe}}} - 1} [b] \quad (\text{per i pianeti interni}) \quad [24b]$$

« $P_{\text{rotXe}}$ »**Periodo siderico del pianeta**« $P_{\text{rotTe}}$ »**Periodo siderico della Terra**

$$\text{Mercurio: } \Psi_{\text{rotMee}} = \frac{P_{\text{rotMee}}}{1 - \frac{P_{\text{rotMee}}}{P_{\text{rotTe}}}} [a] = \frac{87,969}{1 - \frac{87,969}{365}} = 115,90 \text{ g (giorni)}$$

$$\text{Venere: } \Psi_{\text{rotVee}} = \frac{P_{\text{rotVee}}}{1 - \frac{P_{\text{rotVee}}}{P_{\text{rotTe}}}} [a] = \frac{224,701}{1 - \frac{224,701}{365}} = 584,58 \text{ g (giorni)}$$

$$\text{Marte: } \Psi_{\text{rotMae}} = \frac{P_{\text{rotMae}}}{\frac{P_{\text{rotMae}}}{P_{\text{rotTe}}} - 1} [b] = \frac{686,980}{\frac{686,980}{365} - 1} = 778,77 \text{ g (giorni)}$$

La **Terra**, ovviamente, non è stata presa in considerazione in quanto è stata assunta quale pianeta di riferimento.

$$\text{Giove: } \Psi_{\text{rotGie}} = \frac{P_{\text{rotGie}}}{\frac{P_{\text{rotGie}}}{P_{\text{rotTe}}} - 1} [b] = \frac{4\,332,589}{\frac{4\,332,589}{365} - 1} = 398,58 \text{ g (giorni)}$$

$$\text{Saturno: } \Psi_{\text{rotSae}} = \frac{P_{\text{rotSae}}}{\frac{P_{\text{rotSae}}}{P_{\text{rotTe}}} - 1} [b] = \frac{10\,759,220}{\frac{10\,759,220}{365} - 1} = 377,82 \text{ g (giorni)}$$

$$\text{Urano: } \Psi_{\text{rotUre}} = \frac{P_{\text{rotUre}}}{\frac{P_{\text{rotUre}}}{P_{\text{rotTe}}} - 1} [b] = \frac{30\,685,400}{\frac{30\,685,400}{365} - 1} = 369,39 \text{ g (giorni)}$$

$$\text{Nettuno: } \Psi_{\text{rotNee}} = \frac{P_{\text{rotNee}}}{\frac{P_{\text{rotNee}}}{P_{\text{rotTe}}} - 1} [b] = \frac{60\,189,000}{\frac{60\,189,000}{365} - 1} = 367,23 \text{ g (giorni)}$$

$$\text{Plutone: } \Psi_{\text{rotPle}} = \frac{P_{\text{rotPle}}}{\frac{P_{\text{rotPle}}}{P_{\text{rotTe}}} - 1} [b] = \frac{90\,465,000}{\frac{90\,465,000}{365} - 1} = 366,49 \text{ g (giorni)}$$

Plutone, come indicato più avanti è stato declassato a **pianeta nano**.

Le approssimazioni introdotte hanno portato a risultati che si scostano un poco dai valori più precisi riportati nella tabella a pagina 37.

**Periodo orbitale a  $Q_h = 0$  (traiettoria circolare prossima alla superficie):  $P_X$** 

$$P_X = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{Xm}}{V_{SX}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{R_{Xm}^3}}{R_{Xm} \cdot \sqrt{g_{0X}}} [b] = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{Xm}}{\sqrt{g_{0X} \cdot R_{Xm}}} [c] = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R_{Xm}}{g_{0X}}} [d] \quad [25]$$

« $R_{Xm}$ »**Raggio medio dell'astro**« $V_{SX}$ »**Velocità di sustentazione in prossimità della superficie**« $g_{0X}$ »**Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**

$$\text{Terza: } P_T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{Tm}}{V_{ST}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 6\,371\,200}{7\,906} = 5\,063,43 \text{ s}$$

$$\text{Luna: } P_L = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{Lm}}{V_{SL}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1\,738\,000}{1\,678} = 6\,507,852 \text{ s}$$

$$\text{Sole: } P_S = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_{Sm}}{V_{SS}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 696\,000\,000}{436\,696} = 10\,014\,053,194 \text{ s}$$

**Periodo orbitale di una massa unitaria Mu, che ruota alla quota Qh: P<sub>orbX</sub>**

$$P_{orbX} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(R_{Xm} + Q_h)^3}}{R_{Xm} \cdot \sqrt{g_{0X}}} [a] = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{(R_{Xm} + Q_h)^3}{g_{0X} \cdot R_{Xm}^2}} [b] = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{(R_{Xm} + Q_h)^3}{\mu_{0X}}} [c] \quad [26]$$

«R<sub>Xm</sub>»

**Raggio medio dell'astro**

«g<sub>0X</sub>»

**Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**

«μ<sub>0X</sub>»

**Costante gravitazionale geocentrica**

**QX = 35 792 926 m (quota dell'orbita geostazionaria attorno alla Terra)**

$$\text{Terra: } P_{orbT} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(R_{Tm} + Q_h)^3}}{R_{Tm} \cdot \sqrt{g_{0T}}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 273\,788\,154\,087}{6\,371\,200 \cdot \sqrt{9,81}} = 86\,206\,255 \text{ s}$$

Molto vicino a quello reale di 86 164,091 s

**QX = 86 716 120 m (quota dell'orbita geostazionaria attorno alla Luna)**

$$\text{Luna: } P_{orbL} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(R_{Lm} + Q_h)^3}}{R_{Lm} \cdot \sqrt{g_{0L}}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 831\,911\,445\,337}{1\,738\,000 \cdot \sqrt{1,62}} = 2\,362\,923\,646 \text{ s}$$

Molto vicino a quello reale di 2 360 591,5 s

**QX = 57 214 000 000 m (quota media alla quale Mercurio ruota attorno al Sole)**

$$\text{Sole: } P_{orbS} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(R_{Sm} + Q_h)^3}}{R_{Sm} \cdot \sqrt{g_{0S}}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 13\,935\,750\,021\,832\,337}{696\,000\,000 \cdot \sqrt{274}} = 7\,600\,211,792 \text{ s}$$

Molto vicino a quello reale di 7 600 521,6 s

**Periodo orbitale di una massa trascurabile Mt, in orbita, o circolare od ellittica, attorno ad un corpo centrale: PMt<sub>orbX</sub>**

$$PMt_{orbX} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{a_X^3}{G \cdot M_{ccX}}} [a] = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{a_X^3}{\mu_0}} [b] \quad [27]$$

«a<sub>X</sub>»

**Asse maggiore dell'orbita del corpo di massa trascurabile**

«G»

**Costante gravitazionale universale**

«M<sub>ccX</sub>»

**Massa del corpo centrale**

«μ<sub>0X</sub>»

**Costante gravitazionale planetaria**

**a<sub>GPS</sub> = 26 560 000 m (asse maggiore dei satelliti GPS); corpo centrale: Terra**

$$PMt_{orbGPS} = \begin{cases} 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{a_{GPS}^3}{G \cdot M_{ccT}}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{26\,560\,000^3}{6,674\,28 \cdot 10^{-11} \cdot 5,976 \cdot 10^{24}}} = 43\,064,0 \text{ s} \\ PMt_{orbGPS} = 43\,064 = 11^h 57^m 44,0^s \end{cases}$$

**A<sub>Lunik16</sub> = 1 100 000 m (apogeo della sonda Lunik 16); corpo centrale: Luna**

$$PMt_{orbLunik16} = \begin{cases} 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{a_{Lunik16}^3}{G \cdot M_{ccL}}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1\,100\,000^3}{6,674\,28 \cdot 10^{-11} \cdot 7,351 \cdot 10^{22}}} = 3\,272,6 \text{ s} \\ PMt_{orbLunik16} = 3\,272,6 = 54^m 32,6^s \end{cases}$$

**A<sub>Lunik16</sub> = 1 100 000 m (apogeo della sonda Lunik 16); corpo centrale: Luna**

$$PMt_{orbLunik16} = \begin{cases} 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{a_{Lunik16}^3}{G \cdot M_{ccL}}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1\,100\,000^3}{6,674\,28 \cdot 10^{-11} \cdot 7,351 \cdot 10^{22}}} = 3\,272,6 \text{ s} \\ PMt_{orbLunik16} = 3\,272,6 = 54^m 32,6^s \end{cases}$$

**Quota di rivoluzione di una massa unitaria Mu, con periodo orbitale P<sub>orbX</sub>: Q<sub>orbX</sub>**

$$Q_{orbX} = \sqrt[3]{\frac{P_{orbX}^2 \cdot R_{Xm}^2 \cdot g_{0X}}{4 \cdot \pi^2}} - R_{Xm} [a] = \sqrt[3]{\frac{P_{orbX}^2 \cdot \mu_{0X}}{4 \cdot \pi^2}} - R_{Xm} [b] \quad [28]$$

«P<sub>orbX</sub>» **Periodo orbitale**  
 «R<sub>Xm</sub>» **Raggio medio dell'astro**  
 «g<sub>0X</sub>» **Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**  
 «μ<sub>0X</sub>» **Costante gravitazionale geocentrica**

$$P_{orbT} = 86\,206.255$$

$$\text{Terra:} \begin{cases} Q_{orbT} = \sqrt[3]{\frac{P_{orbT}^2 \cdot R_{Tm}^2 \cdot g_{0T}}{4 \cdot \pi^2}} - R_{Tm} [a] \\ Q_{orbT} = \sqrt[3]{\frac{86\,206.255^2 \cdot 6\,371\,200^2 \cdot 9.81}{4 \cdot \pi^2}} - 6\,371\,200 = 35\,792\,926 \text{ m} \end{cases}$$

$$P_{orbL} = 2\,362\,923.646$$

$$\text{Luna:} \begin{cases} Q_{orbL} = \sqrt[3]{\frac{P_{orbL}^2 \cdot R_{Lm}^2 \cdot g_{0L}}{4 \cdot \pi^2}} - R_{Lm} [a] \\ Q_{orbL} = \sqrt[3]{\frac{2\,362\,923.646^2 \cdot 1\,738\,000^2 \cdot 1.62}{4 \cdot \pi^2}} - 1\,738\,000 = 86\,716\,120 \text{ m} \end{cases}$$

$$P_{orbS} = 7\,600\,211.792$$

$$\text{Sole:} \begin{cases} Q_{orbS} = \sqrt[3]{\frac{P_{orbS}^2 \cdot R_{Sm}^2 \cdot g_{0S}}{4 \cdot \pi^2}} - R_{Sm} [a] \\ Q_{orbS} = \sqrt[3]{\frac{7\,600\,211.792^2 \cdot 696\,000\,000^2 \cdot 274}{4 \cdot \pi^2}} - 692\,000\,000 = 57\,214\,000\,001 \text{ m} \end{cases}$$

**Quota dell'orbita sincrona, o geostazionaria, contata dalla superficie dell'astro: Q<sub>osX</sub>**

$$Q_{sX} = \sqrt[3]{\left(\frac{P_{rotX}}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot G \cdot M_X} - R_{Xm} [a] = \sqrt[3]{\left(\frac{P_{rotX}}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot g_{0X} \cdot R_{Xm}^2} - R_{Xm} [b] \quad [29]$$

«P<sub>rotX</sub>» **Periodo di rotazione siderale**  
 «G» **Costante di gravitazione universale**  
 «M<sub>X</sub>» **Massa dell'astro**  
 «R<sub>Xm</sub>» **Raggio medio dell'astro**  
 «g<sub>0X</sub>» **Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**

$$\text{Terra:} \begin{cases} Q_{osT} = \sqrt[3]{\left(\frac{P_{rotT}}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot G \cdot M_T} - R_{Tm} [a] \\ Q_{osT} = \sqrt[3]{\left(\frac{86\,164.091}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 5.976 \cdot 10^{24}} - 6\,371\,200 \\ Q_{osT} = 42\,164\,126 - 6\,371\,200 = 35\,792\,926 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{Luna:} \begin{cases} Q_{osL} = \sqrt[3]{\left(\frac{P_{rotL}}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot G \cdot M_L} - R_{Lm} [a] \\ Q_{osL} = \sqrt[3]{\left(\frac{2\,360\,591.5}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 7\,351 \cdot 10^{22}} - 1\,738\,000 \\ Q_{osL} = 88\,454\,120 - 1\,738\,000 = 86\,716\,120 \text{ m} \end{cases}$$

**Considerando il corpo rigido**

$$\text{Sole:} \begin{cases} Q_{osS} = \sqrt[3]{\left(\frac{P_{rotS}}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot G \cdot M_S} - R_{Sm} [a] \\ Q_{osS} = \sqrt[3]{\left(\frac{2\,356\,560}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 1.990 \cdot 10^{30}} - 696\,000\,000 \\ Q_{osS} = 4\,321\,038\,029\,361\,180 - 696\,000\,000 = 4\,321\,037\,333\,361\,180 \text{ m} \end{cases}$$

**Raggio del parallelo alla latitudine φ (considerando il corpo sferico): R<sub>pφX</sub>**

$$R_{pφX} = R_{Xm} \cdot \cos \varphi [a] \quad [30]$$

«R<sub>Xm</sub>» **Raggio medio dell'astro**

« $\varphi$ » **Latitudine in gradi sessagesimali**

alla latitudine  $\varphi = \pm 45^\circ$

$$\text{Terra: } R_{p\varphi X} = R_{Xm} \cdot \cos \varphi [a] = 6\,371\,22 \cdot \cos 45 = 4\,505\,118,724 \text{ m}$$

$$\text{Luna: } R_{p\varphi L} = R_{Lm} \cdot \cos \varphi [a] = 1\,738\,000 \cdot \cos 45 = 1\,228\,951,586 \text{ m}$$

$$\text{Sole: } R_{p\varphi S} = R_{Sm} \cdot \cos \varphi [a] = 696\,000\,000 \cdot \cos 45 = 492\,146\,319,706 \text{ m}$$

ai Poli  $\varphi = \pm 90^\circ$

$$\text{Terra e Luna e Sole: } R_{pT} = R_{pL} = R_{pS} 0.000 \text{ (nullo) m}$$

**Rapporto fra le masse di due corpi, ed il reciproco del rapporto:  $W_{XY}, W_{XY}^{-1}$**

$$W_{XY} = \frac{M_{X1}}{M_{X2}} [a] \quad [31a]$$

$$W_{XY}^{-1} = \frac{M_{X1}}{M_{X2}} [b] \quad [31b]$$

« $M_{X1}$ » **Massa di un primo astro**

« $M_{X2}$ » **Massa di un secondo astro**

**Rapporto fra la massa della Terra e la massa della Luna, ed il reciproco:**

$$W_{TL} = \frac{M_T}{M_L} [a] = \frac{5,976 \cdot 10^{24}}{7,351 \cdot 10^{22}} = 81,295$$

$$W_{TL}^{-1} = \frac{M_L}{M_T} [b] = \frac{7,351 \cdot 10^{22}}{5,976 \cdot 10^{24}} = \frac{1}{81,295} = 0,012\,301$$

**Rapporto fra la massa della Terra e la massa del Sole, ed il reciproco:**

$$W_{ST} = \frac{M_S}{M_T} [a] = \frac{1,990 \cdot 10^{30}}{5,976 \cdot 10^{24}} = 332\,999$$

$$W_{ST}^{-1} = \frac{M_T}{M_S} [b] = \frac{5,976 \cdot 10^{24}}{1,990 \cdot 10^{30}} = \frac{1}{332\,999} = 3,003 \cdot 10^{-6}$$

**Superficie dell'astro:  $St_X$**   
(considerando il corpo sferico)

$$St_X = 4 \cdot \pi \cdot R_{Xm}^2 [a] \quad [32]$$

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**

$$\text{Terra: } St_T = 4 \cdot \pi \cdot R_{Tm}^2 [a] = 4 \cdot \pi \cdot 6\,371\,200^2 = 5,101 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$$

$$\text{Luna: } St_L = 4 \cdot \pi \cdot R_{Lm}^2 [a] = 4 \cdot \pi \cdot 1\,738\,000^2 = 3,796 \cdot 10^{13} \text{ m}^2$$

$$\text{Sole: } St_S = 4 \cdot \pi \cdot R_{Sm}^2 [a] = 4 \cdot \pi \cdot 696\,000\,000^2 = 6,087 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$$

**Velocità angolare di rotazione:  $\omega_X$**

$$\omega_X = \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotX}} [a] \quad [33]$$

« $P_{rotX}$ » **Periodo di rotazione siderale**

$$\text{Terra: } \omega_T = \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotT}} [a] = \frac{2 \cdot \pi}{86\,164,091} = 7,292\,116 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Luna: } \omega_L = \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotL}} [a] = \frac{2 \cdot \pi}{2\,360\,591,5} = 2,661\,700 \cdot 10^{-6} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Considerando il corpo rigido**

$$\text{Sole: } \omega_S = \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotS}} [a] = \frac{2 \cdot \pi}{2\,356\,560} = 2,666\,253 \cdot 10^{-6} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Velocità di evasione, o di fuga, dalla superficie:  $Vf_X$**

$$Vf_X = \sqrt{2 \cdot g_{0X} \cdot R_{Xm}} [a] = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M_X}{R_{Xm}}} [b] = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu_{0X}}{R_{Xm}}} [c] \quad [34]$$

« $g_{0X}$ » **Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**  
 « $G$ » **Costante di gravitazione universale**  
 « $M_X$ » **Massa dell'astro**  
 « $\mu_{0X}$ » **Costante gravitazionale geocentrica**

$$\text{Terra: } Vf_T = \sqrt{2 \cdot g_{0T} \cdot R_{Tm}} [a] = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6\,371\,200} = 11\,180 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Luna: } Vf_L = \sqrt{2 \cdot g_{0L} \cdot R_{Lm}} [a] = \sqrt{2 \cdot 1,62 \cdot 1\,738\,000} = 2\,737 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Sole: } Vf_S = \sqrt{2 \cdot g_{0S} \cdot R_{Sm}} [a] = \sqrt{2 \cdot 274 \cdot 696\,000\,000} = 617\,582 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Senza considerare l'eventuale influenza degli altri corpi celesti.

### Velocità di sustentazione alla quota sincrona, o geostazionaria: $V_{GX}$

$$V_{GX} = \sqrt{\frac{G \cdot M_X}{Q_{Xgs} + R_{Xm}}} [a] = \frac{2 \cdot \pi (Q_{Xgs} + R_{Xm})}{P_{rivX}} [b] = \sqrt{\frac{g_{0X} \cdot R_{Xm}^2}{Q_{Xgs} + R_{Xm}}} [c]$$

« $G$ » **Costante di gravitazione universale**  
 « $M_X$ » **Massa dell'astro**  
 « $Q_{Xgs}$ » **Quota dell'orbita sincrona o geostazionaria**  
 « $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**  
 « $g_{0X}$ » **Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**

$$\text{Terra: } V_{GT} = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{Q_{Tgs} + R_{Tm}}} [a] = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,976 \cdot 10^{24}}{35\,792\,926 + 6\,371\,200}} = 3\,074,657 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Luna: } V_{GL} = \sqrt{\frac{G \cdot M_L}{Q_{Lgs} + R_{Lm}}} [a] = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 7,351 \cdot 10^{22}}{86\,752\,204 + 1\,738\,000}} = 235,535 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

### Velocità di sustentazione planetaria in prossimità della superficie: $V_{SX}$

$$V_{SX} = \sqrt{g_{0X} \cdot R_{Xm}} [a] = \frac{Vf_X}{\sqrt{2}} [b] = \sqrt{\frac{G \cdot M_X}{R_{Xm}}} [c] = \sqrt{\frac{\mu_{0X}}{R_{Xm}}} [d] \quad [35]$$

« $g_{0X}$ » **Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**  
 « $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**  
 « $Vf_X$ » **Velocità di evasione, o di fuga, dalla superficie**  
 « $G$ » **Costante gravitazionale universale**  
 « $M_X$ » **Massa dell'astro**  
 « $\mu_{0X}$ » **Costante gravitazionale geocentrica**

$$\text{Terra: } Vs_T = \sqrt{g_{0T} \cdot R_{Tm}} [a] = \sqrt{9,81 \cdot 6\,371\,200} = 7\,906 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Luna: } Vs_L = \sqrt{g_{0L} \cdot R_{Lm}} [a] = \sqrt{1,62 \cdot 1\,738\,000} = 1\,678 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Sole: } Vs_S = \sqrt{g_{0S} \cdot R_{Sm}} [a] = \sqrt{274 \cdot 696\,000\,000} = 436\,696 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

### Velocità di sustentazione planetaria alla quota $Q_h$ : $V_{S_{QhX}}$

$$V_{S_{QhX}} = \sqrt{g_{0X} \cdot R_{Xm}} \cdot \sqrt{\frac{R_{Xm}}{Q_h + R_{Xm}}} [a] = Vs_X \cdot \sqrt{\frac{R_{Xm}}{Q_h + R_{Xm}}} [b] \quad [36]$$

« $g_{0X}$ » **Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro**  
 « $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**  
 « $Q_h$ » **Quota generica di un astro**

es.  $Q_h = 587\,500\,000 \text{ m}$  (quota orbitale media dello Sputnik 1 dalla superficie terrestre)

$$\text{Terra: } \begin{cases} Vs_{QhT} = \sqrt{g_{0T} \cdot R_{Tm}} \cdot \sqrt{\frac{R_{Tm}}{Q_h + R_{Tm}}} [a] = \sqrt{62\,501,472} \cdot \sqrt{\frac{6\,371\,200}{587\,500\,000 + 6\,371\,200}} \\ Vs_{QhT} = 7\,906 \cdot 0,103\,577 = 818,882 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases}$$

es.  $Q_h = 100\,000\,000 \text{ m}$  (quota orbitale media del LEM dalla superficie Lunare)

$$\text{Luna: } \begin{cases} Vs_{QhL} = \sqrt{g_{0L} \cdot R_{Lm}} \cdot \sqrt{\frac{R_{Lm}}{Q_h + R_{Lm}}} [a] = \sqrt{2\,815\,560} \cdot \sqrt{\frac{1\,738\,000}{100\,000\,000 + 1\,738\,000}} \\ Vs_{QhL} = 1\,678 \cdot 0,130\,702 = 219,318 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases}$$



es.  $Q_h = 57\,910\,000\,000$  m (quota orbitale media di Mercurio)

$$\text{Sole: } \begin{cases} V_{S_{QhS}} = \sqrt{g_{0S} \cdot R_{Sm}} \cdot \sqrt{\frac{R_{Sm}}{Q_h + R_{Sm}}} [a] = \sqrt{1,90\,704 \cdot 10^{11}} \cdot \sqrt{\frac{1\,738\,000}{5,7\,91 \cdot 10^{10} + 6,96 \cdot 10^8}} \\ V_{S_{QhS}} = 436\,697 \cdot 0,108\,977 = 47\,589,929 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases}$$

**Velocità orbitale:  $V_{Oxw}$**

$$V_{Oxw} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{XYw}}{P_{rivX}} [a] \quad [37]$$

« $D_{XYw}$ » **Distanza orbitale**

« $P_{rivX}$ » **Periodo di rivoluzione siderale**

(per la Terra: all'AFELIO; per la Luna: all'APOGEO):

$$\text{Terra: } V_{OTw} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{TSw}}{P_{rivT}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,521 \cdot 10^{11}}{31\,558\,149,504} = 30\,283 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Luna: } V_{OLw} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{TLw}}{P_{rivL}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 4,057\,1 \cdot 10^8}{2\,360\,591,5} = 1\,080 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

media:

$$\text{Terra: } V_{OTm} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{TSw}}{P_{rivT}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,496 \cdot 10^{11}}{31\,558\,149,504} = 29\,785 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Luna: } V_{OLm} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{TLw}}{P_{rivL}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3,843\,4 \cdot 10^8}{2\,360\,591,5} = 1\,023 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

(per la Terra: al PERIELIO; per la Luna: al PERIGEO):

$$\text{Terra: } V_{OTm} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{TSw}}{P_{rivT}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,471 \cdot 10^{11}}{31\,558\,149,504} = 29\,287 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Luna: } V_{OLm} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{TLw}}{P_{rivL}} [a] = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3,629\,7 \cdot 10^8}{2\,360\,591,5} = 966 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Velocità tangenziale di rotazione all'equatore:  $v_{eX}$**

$$v_{eX} = \frac{C_{eX}}{P_{rotX}} [a] = \frac{2 \cdot \pi}{P_{rotX}} \cdot R_{Xm} [b] = \omega_X \cdot R_{Xm} [c] \quad [38]$$

« $C_{eX}$ » **Circonferenza equatoriale**

« $P_{rotX}$ » **Periodo di rotazione siderale**

« $\omega_X$ » **Velocità angolare di rotazione**

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**

$$\text{Terra: } v_{eT} = \frac{C_{eT}}{P_{rotT}} [a] = \frac{40\,030\,173,592}{86\,164,091} = 464,581 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Luna: } v_{eL} = \frac{C_{eL}}{P_{rotL}} [a] = \frac{10\,920\,176,064}{2\,360\,591,5} = 4,626 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Sole: } v_{eS} = \frac{C_{eS}}{P_{rotS}} [a] = \frac{4\,373\,096\,973,797}{22\,356\,560} = 1\,955,712 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Velocità tangenziale di rotazione alla latitudine  $\varphi$ :  $v_{\varphi X}$**   
(considerando il corpo sferico)

$$v_{\varphi X} = \frac{C_{p\varphi X}}{P_{rotX}} [a] \quad [39]$$

« $C_{p\varphi X}$ » **Circonferenza del parallelo alla latitudine  $\varphi$**

« $P_{rotX}$ » **Periodo di rotazione siderale**

alla latitudine  $\varphi = \pm 45^\circ$

$$\text{Terra: } v_{45T} = \frac{C_{p45T}}{P_{rotT}} [a] = \frac{28\,306\,495,774}{86\,164,091} = 328,518 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Luna: } v_{45L} = \frac{C_{p45L}}{P_{rotL}} [a] = \frac{7\,721\,730,548}{2\,360\,591,5} = 3,271 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Considerando il corpo rigido

$$\text{Sole: } v_{45S} = \frac{C_{p45S}}{P_{rotS}} [a] = \frac{3\,092\,246\,524,959}{1\,356\,560} = 1\,312,187 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

ai poli  $\varphi = \pm 90^\circ$

**Terra e Luna e Sole:**  $v_{pT} = v_{pL} = v_{pS} = 0,000 \text{ (nulla) m} \cdot \text{s}^{-1}$

### **Volume: $V_{t_X}$**

**(considerando il corpo sferico)**

$$V_{t_X} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_{Xm}^3 [\text{a}] \quad [40]$$

« $R_{Xm}$ » **Raggio medio dell'astro**

$$\textbf{Terra: } V_{t_T} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_{Tm}^3 [\text{a}] = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 6\,371\,200^3 = 1,083 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$$

$$\textbf{Luna: } V_{t_L} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_{Lm}^3 [\text{a}] = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 1\,738\,200^3 = 2,199 \cdot 10^{19} \text{ m}^3$$

$$\textbf{Sole: } V_{t_S} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_{Sm}^3 [\text{a}] = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 696\,000\,000^3 = 1,412 \cdot 10^{27} \text{ m}^3$$

## *Simboli utilizzati nel testo*

$\mu_{0X}$	Costante gravitazionale planetaria	$m^3 \cdot s^{-2}$
$v_{\phi X}$	Velocità tangenziale di rotazione alla latitudine $\phi$	$m \cdot s^{-1}$
$v_{45L}$	Velocità tangenziale di rotazione della Luna alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	$m \cdot s^{-1}$
$v_{45T}$	Velocità tangenziale di rotazione della Terra alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	$m \cdot s^{-1}$
$v_{eL}$	Velocità tangenziale di rotazione della Luna all'equatore; $\phi = 0^\circ$	$m \cdot s^{-1}$
$v_{eS}$	Velocità tangenziale di rotazione del Sole all'equatore; $\phi = 0^\circ$	$m \cdot s^{-1}$
$v_{eT}$	Velocità tangenziale di rotazione della Terra all'equatore; $\phi = 0^\circ$	$m \cdot s^{-1}$
$v_{eX}$	Velocità tangenziale di rotazione all'equatore; $\phi = 0^\circ$	$m \cdot s^{-1}$
$\omega_L$	Velocità angolare di rotazione della Luna	$rad \cdot s^{-1}$
$\omega_T$	Velocità angolare di rotazione della Terra	$rad \cdot s^{-1}$
$\omega_X$	Velocità angolare di rotazione	$rad \cdot s^{-1}$
$v_{Xe}$	Velocità tangenziale di rotazione all'equatore	$m \cdot s^{-1}$
$a_X$	Semiasse maggiore	$m$
$Ac_{\phi X}$	Accelerazione centripeta di rotazione alla latitudine $\phi$	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_{45L}$	Accelerazione centripeta di rotazione della Luna alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_{45T}$	Accelerazione centripeta di rotazione della Terra alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_{eL}$	Accelerazione centripeta di rotazione della Luna all'equatore	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_{eS}$	Accelerazione centripeta di rotazione del Sole all'equatore	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_{eT}$	Accelerazione centripeta di rotazione della Terra all'equatore	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_{eX}$	Accelerazione centripeta di rotazione all'equatore	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_L$	Accelerazione centripeta media nell'orbita di rivoluzione della Luna	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_{pL}$	Accelerazione centripeta di rotazione della Luna ai poli $\phi = \pm 90^\circ$	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_{pS}$	Accelerazione centripeta di rotazione del Sole ai poli $\phi = \pm 90^\circ$	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_{pT}$	Accelerazione centripeta di rotazione della Terra ai poli $\phi = \pm 90^\circ$	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_T$	Accelerazione centripeta media nell'orbita di rivoluzione della Terra	$m \cdot s^{-2}$
$Ac_X$	Accelerazione centripeta media nell'orbita di rivoluzione	$m \cdot s^{-2}$
$a_X$	Asse maggiore	$m$
$C_{eL}$	Circonferenza equatoriale della Luna; $\phi = 0^\circ$	$m$
$C_{eS}$	Circonferenza equatoriale del Sole; $\phi = 0^\circ$	$m$
$C_{eT}$	Circonferenza equatoriale della Terra; $\phi = 0^\circ$	$m$
$C_{eX}$	Circonferenza equatoriale; $\phi = 0^\circ$	$m$
$C_{p\phi X}$	Circonferenza del parallelo alla latitudine $\phi$	$m$
$C_{p45L}$	Circonferenza del parallelo della Luna alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	$m$
$C_{p45S}$	Circonferenza del parallelo del Sole alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	$m$
$C_{p45T}$	Circonferenza del parallelo della Terra alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	$m$
$C_{pL}$	Circonferenza del parallelo della Luna ai poli $\phi = \pm 90^\circ$	$m$
$C_{pS}$	Circonferenza del parallelo del Sole ai poli $\phi = \pm 90^\circ$	$m$
$C_{pT}$	Circonferenza del parallelo della Terra ai poli $\phi = \pm 90^\circ$	$m$
$C_{TL}$	Centro medio di massa Terra-Luna ( <i>distanza dal centro della Terra</i> )	$m$
$C_{TS}$	Centro medio di massa Terra-Sole ( <i>distanza dal centro del Sole</i> )	$m$
$C_{XY}$	Centro medio di massa fra due corpi celesti	$m$
$d_{mvL}$	Massa volumica media della Luna (densità media della Luna)	$kg \cdot m^{-2}$
$d_{mvS}$	Massa volumica media del Sole (densità media del Sole)	$kg \cdot m^{-2}$
$d_{mvT}$	Massa volumica media della Terra (densità media della Terra)	$kg \cdot m^{-2}$
$d_{mvX}$	Massa volumica media (densità media)	$kg \cdot m^{-2}$
$D_{TLa}$	Distanza massima Terra - Luna (apogeo)	$m$
$D_{TLm}$	Distanza media Terra - Luna	$m$
$D_{TLp}$	Distanza minima Terra - Luna (perigeo)	$m$
$D_{TSa}$	Distanza massima Terra - Sole (afelio)	$m$
$D_{TSm}$	Distanza media Terra - Sole	$m$
$D_{TSp}$	Distanza minima Terra-Sole (perielio)	$m$
$D_{XYa}$	Distanza massima fra i baricentri di due astri	$m$
$D_{XYm}$	Distanza media fra i baricentri di due astri	$m$
$D_{XYP}$	Distanza minima fra i baricentri di due astri	$m$
$D_{XYw}$	Distanza orbitale	$m$

$E_{CrLt}$	Energia cinetica rotazionale della Luna (teorico)	J
$E_{CrT}$	Energia cinetica rotazionale della Terra (teorico)	J
$E_{CrTr}$	Energia cinetica rotazionale della Terra (reale)	J
$E_{CrTt}$	Energia cinetica rotazionale della Terra (teorico)	J
$E_{CrTt}$	Energia cinetica rotazionale del Sole (teorico)	J
$E_{CrXx}$	Energia cinetica rotazionale	J
$E_{ctL0}$	Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria, all'equatore lunare	J
$E_{ctL45}$	Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria, a $\varphi = \pm 45^\circ$ sulla Luna	J
$E_{ctS0}$	Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria, all'equatore solare	J
$E_{ctS45}$	Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria, a $\varphi = \pm 45^\circ$ sulla Sole	J
$E_{ctT0}$	Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria, all'equatore terrestre	J
$E_{ctT45}$	Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria, a $\varphi = \pm 45^\circ$ sulla Terra	J
$E_{ctX\varphi}$	Energia cinetica traslazionale, di una massa $\mu$ , alla latitudine $\varphi$	J
$E_L$	Eccentricità orbitale della Luna	
$E_T$	Eccentricità orbitale della Terra	
$E_{tLt0}$	Energia cinetica totale ( $E_{CrTe} + E_{ctTe}$ ) all'equatore sulla Luna (teorica)	J
$E_{tLt45}$	Energia cinetica totale ( $E_{CrT45} + E_{ctT45}$ ) a $\varphi = \pm 45^\circ$ sulla Luna (teorica)	J
$E_{tTr0}$	Energia cinetica totale ( $E_{CrTe} + E_{ctTe}$ ) all'equatore sulla Terra (reale)	J
$E_{tTr45}$	Energia cinetica totale ( $E_{CrT45} + E_{ctT45}$ ) a $\varphi = \pm 45^\circ$ sulla Terra (reale)	J
$E_{tTt0}$	Energia cinetica totale ( $E_{CrTe} + E_{ctTe}$ ) all'equatore sulla Terra (teorica)	J
$E_{tTt45}$	Energia cinetica totale ( $E_{CrT45} + E_{ctT45}$ ) a $\varphi = \pm 45^\circ$ sulla Terra (teorica)	J
$E_{tXx\varphi}$	Energia cinetica totale ( $E_{CrX} + E_{ctX\varphi}$ ) alla latitudine $\varphi$	J
$E_{XY}$	Eccentricità orbitale	
$F_{ST}$	Forza media di attrazione fra la Terra ed il Sole	N
$F_{TL}$	Forza media di attrazione fra la Terra e la Luna	N
$F_{XY}$	Forza media di attrazione fra due astri	N
$G$	Costante gravitazionale universale	$m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$
$g_{0L}$	Accelerazione di gravità media sulla superficie della Luna	$m \cdot s^{-2}$
$g_{0S}$	Accelerazione di gravità media sulla superficie del Sole	$m \cdot s^{-2}$
$g_{0T}$	Accelerazione di gravità media sulla superficie della Terra	$m \cdot s^{-2}$
$g_{0X}$	Accelerazione di gravità media sulla superficie dell'astro	$m \cdot s^{-2}$
$GM_L$	Costante gravitazionale geocentrica della Luna	$m^3 \cdot s^{-2}$
$GM_S$	Costante gravitazionale geocentrica del Sole	$m^3 \cdot s^{-2}$
$GM_T$	Costante gravitazionale geocentrica della Terra	$m^3 \cdot s^{-2}$
$GM_X$	Costante gravitazionale geocentrica	$m^3 \cdot s^{-2}$
$g_{QhL}$	Accelerazione di gravità media alla quota dell'orbita sincrona dalla superficie della Luna	$m \cdot s^{-2}$
$g_{QhLT}$	Accelerazione di gravità media alla quota del punto abarico medio <i>Luna - Terra</i> dalla superficie della Luna	$m \cdot s^{-2}$
$g_{QhT}$	Accelerazione di gravità media alla quota dell'orbita sincrona dalla superficie della Terra	$m \cdot s^{-2}$
$g_{QhTL}$	Accelerazione di gravità media alla quota del punto abarico medio <i>Terra - Luna</i> dalla superficie della Terra	$m \cdot s^{-2}$
$g_{QhX}$	Accelerazione di gravità media alla quota $Qh$	$m \cdot s^{-2}$
$I_{Lt}$	Momento principale d'inerzia della Luna (teorico)	$kg \cdot m^2$
$I_{St}$	Momento principale d'inerzia del Sole (teorico)	$kg \cdot m^2$
$I_{Tr}$	Momento principale d'inerzia della Terra (reale)	$kg \cdot m^2$
$I_{Tt}$	Momento principale d'inerzia della Terra (teorico)	$kg \cdot m^2$
$I_{Xx}$	Momento principale d'inerzia	$kg \cdot m^2$
$L_{OrL}$	Lunghezza approssimata dell'orbita di rivoluzione della Luna	m
$L_{OrT}$	Lunghezza approssimata dell'orbita di rivoluzione della Terra	m
$L_{OrX}$	Lunghezza approssimata dell'orbita di rivoluzione	m
$M_{ccX}$	Massa del corpo centrale	kg
$M_L$	Massa della Luna	kg
$mp_{Le}$	Coefficiente del potenziale della forza centrifuga della Luna all'equatore	
$mp_{Te}$	Coefficiente del potenziale della forza centrifuga della Terra all'equatore	
$mp_{Xe}$	Coefficiente del potenziale della forza centrifuga all'equatore	

$M_S$	Massa del Sole	kg
$M_T$	Massa della Terra	kg
$M_X$	Massa del Pianeta	kg
$M_X$	Massa dell'astro	kg
$M_{X1}$	Massa del primo astro	kg
$M_{X1}$	Massa di un primo astro	kg
$M_{X2}$	Massa del secondo astro	kg
$M_{X2}$	Massa di un secondo astro	kg
$P_L$	Periodo orbitale della Luna	s
$PM_{\text{orb}X}$	Periodo orbitale di una massa trascurabile attorno ad un corpo centrale	s
$P_{\text{riv}L}$	Periodo di rivoluzione siderale della luna (mese siderale)	s
$P_{\text{riv}S}$	Periodo di rivoluzione siderale della Terra (anno siderale)	s
$P_{\text{riv}X}$	Periodo di rivoluzione siderale	s
$P_{\text{rot}L}$	Periodo di rotazione siderale della Luna (giorno siderale)	s
$P_{\text{rot}Le}$	Periodo di rotazione all'equatore della Luna (valido per tutte le latitudini)	s
$P_{\text{rot}S}$	Periodo di rotazione siderale del Sole ( <i>all'equatore</i> )	s
$P_{\text{rot}Se}$	Periodo di rotazione all'equatore del Sole ( <b>non</b> valido per tutte le latitudini)	s
$P_{\text{rot}T}$	Periodo di rotazione siderale della Terra (giorno siderale)	s
$P_{\text{rot}Te}$	Periodo di rotazione all'equatore della Terra (valido per tutte le latitudini)	s
$P_{\text{rot}X}$	Periodo di rotazione siderale	s
$P_{\text{rot}Xe}$	Periodo di rotazione all'equatore (ovviamente valido per tutte le latitudini)	s
$P_S$	Periodo orbitale del Sole	s
$P_T$	Periodo orbitale della Terra	s
$P_X$	Periodo orbitale	s
$Q_{aLT}$	Quota del punto neutro Luna - Terra dalla superficie della Luna	m
$Q_{aST}$	Quota del punto neutro Sole - Terra dalla superficie della Sole	m
$Q_{aTL}$	Quota del punto neutro Terra - Luna dalla superficie della Terra	m
$Q_{aTS}$	Quota del punto neutro Terra - Sole dalla superficie della Terra	m
$Q_h$	Quota generica di un astro	m
$Q_{OsL}$	Quota dell'orbita sincrona o geostazionaria della Luna	m
$Q_{OsT}$	Quota dell'orbita sincrona o geostazionaria della Terra	m
$Q_{OsX}$	Quota dell'orbita sincrona o geostazionaria (dalla superficie dell'astro)	m
$R_{Lm}$	Raggio medio della Luna	m
$R_{Lm}$	Raggio medio della Luna	m
$R_{\text{Orb}}$	Raggio dell'orbita	m
$R_{p\phi X}$	Raggio del parallelo alla latitudine $\phi$ (considerando il corpo sferico)	m
$R_{p45L}$	Raggio del parallelo della Luna alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	m
$R_{p45S}$	Raggio del parallelo del Sole alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	m
$R_{p45T}$	Raggio del parallelo della Terra alla latitudine $\phi = \pm 45^\circ$	m
$R_{pPL}$	Raggio del parallelo della Luna ai poli $\phi = \pm 90^\circ$	m
$R_{pPS}$	Raggio del parallelo del Sole ai poli $\phi = \pm 90^\circ$	m
$R_{pPT}$	Raggio del parallelo della Terra ai poli $\phi = \pm 90^\circ$	m
$R_{Sm}$	Raggio medio del Sole	m
$R_{Tm}$	Raggio medio della Terra	m
$R_{Xm}$	Raggio medio dell'astro	m
$St_L$	Superficie della luna	$m^2$
$St_S$	Superficie del Sole	$m^2$
$St_T$	Superficie della Terra	$m^2$
$St_X$	Superficie	$m^2$
$V_{fL}$	Velocità di fuga dalla superficie della Luna	$m \cdot s^{-1}$
$V_{fS}$	Velocità di fuga dalla superficie del Sole	$m \cdot s^{-1}$
$V_{fT}$	Velocità di fuga dalla superficie della Terra	$m \cdot s^{-1}$
$V_{fX}$	Velocità di fuga dalla superficie	$m \cdot s^{-1}$
$V_{GL}$	Velocità di sostentazione alla quota geostazionaria attorno alla Luna	$m \cdot s^{-1}$
$V_{GT}$	Velocità di sostentazione alla quota geostazionaria attorno alla Terra	$m \cdot s^{-1}$
$V_{GX}$	Velocità di sostentazione alla quota geostazionaria	$m \cdot s^{-1}$
$V_{OLa}$	Velocità orbitale(Apogeo)	$m \cdot s^{-1}$

$V_{OLm}$	Velocità orbitale media della Terra	$m \cdot s^{-1}$
$V_{OLp}$	Velocità orbitale(Perigeo)	$m \cdot s^{-1}$
$V_{OTa}$	Velocità orbitale(Afelio)	$m \cdot s^{-1}$
$V_{OTm}$	Velocità orbitale media della Terra	$m \cdot s^{-1}$
$V_{OTp}$	Velocità orbitale(Perielio)	$m \cdot s^{-1}$
$V_{OXm}$	Velocità orbitale media	$m \cdot s^{-1}$
$V_{OXw}$	Velocità orbitale	$m \cdot s^{-1}$
$V_{SL}$	Velocità di sostentazione planetaria in prossimità della superficie della Luna	$m \cdot s^{-1}$
$V_{SQhX}$	Velocità di sostentazione planetaria alla quota $Q_{hn}$	$m \cdot s^{-1}$
$V_{SS}$	Velocità di sostentazione planetaria in prossimità della superficie del Sole	$m \cdot s^{-1}$
$V_{ST}$	Velocità di sostentazione planetaria in prossimità della superficie della Terra	$m \cdot s^{-1}$
$V_{SX}$	Velocità di sostentazione planetaria in prossimità della superficie	$m \cdot s^{-1}$
$V_{tL}$	Volume della Luna	$m^3$
$V_{tS}$	Volume del Sole	$m^3$
$V_{tT}$	Volume della Terra	$m^3$
$V_{tX}$	Volume dell'astro	$m^3$
$W_{ST}$	Rapporto fra: la <i>Massa della Terra</i> e la <i>Massa del Sole</i>	
$W_{ST}^{-1}$	Reciproco del rapporto fra: la <i>Massa della Terra</i> e la <i>Massa del Sole</i>	
$W_{TL}$	Rapporto fra: la <i>Massa della Terra</i> e la <i>Massa della Luna</i>	
$W_{TL}^{-1}$	Reciproco del rapporto fra: la <i>Massa della Luna</i> e la <i>Massa della Terra</i>	
$W_{XY}$	Rapporto fra le masse di due corpi	
$W_{XY}^{-1}$	Reciproco del rapporto fra le masse di due corpi	
$X_{gLT}$	Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale Luna - Terra dal centro della Luna	m
$X_{gST}$	Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale Sole – Terra dal centro del Sole	m
$X_{gTL}$	Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale Terra – Luna dal centro della Terra	m
$X_{gTS}$	Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale Terra – Sole dal centro della Terra	m
$X_{gXY}$	Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale fra due astri	m
$\varphi$	Latitudine in gradi sessagesimali	° ‘ “

## Valori da ricordare

### Costanti e conversioni ed altro

Atmosfera campione {1 atm}	P =	101 325 760 10,33	Pa torr o mmHg mH <sub>2</sub> O
Costante gravitazionale universale	G =	6,674 28 10 <sup>-11</sup>	$\begin{cases} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \end{cases}$
Costante gravitazionale gaussiana A = Unità Astronomiche S = masse solari D = giorni solari medi	k =	0,017 202 098 95	$\sqrt{\text{A}^3} \cdot \sqrt{\text{S}^{-1}} \cdot \text{D}^{-1}$
Distanza equivalente all'anno luce		9,460 528 404 969 290 794 • 10 <sup>18</sup> 3,065 948 452 411 • 10 <sup>2</sup> 6,323 972 634 951 71 • 10 <sup>7</sup>	m parsec au
Distanza equivalente al parsec		3,085 677 581 281 • 10 <sup>16</sup> 2,062 648 062 454 433 • 10 <sup>5</sup> 0,326 163 344 074 967 • 10 <sup>-2</sup>	m au anno luce
Distanza equivalente all'unità astronomica (au) definita dal 2012 (28ª assemblea generale dell'Unione astronomica internazionale) con il valore esatto.		1,49597870707 • 10 <sup>11</sup> 4,848 136 811 134 • 10 <sup>-6</sup> 1,581 284 514 852 483 • 10 <sup>-8</sup>	m parsec anno luce
Prefissi per multipli e per sottomultipli		*Y yotta 10 <sup>24</sup> *Z zetta 10 <sup>21</sup> *E exa 10 <sup>18</sup> P peta 10 <sup>15</sup> T tera 10 <sup>12</sup> G giga 10 <sup>9</sup> M mega 10 <sup>6</sup> k chilo 10 <sup>3</sup> h etto 10 <sup>2</sup> da deca 10 <sup>1</sup> d deci 10 <sup>-1</sup> c centi 10 <sup>-2</sup> m milli 10 <sup>-3</sup> μ micro 10 <sup>-6</sup> n nano 10 <sup>-9</sup> p pico 10 <sup>-12</sup> f femto 10 <sup>-15</sup> *a atto 10 <sup>-18</sup> *z zepto 10 <sup>-21</sup> *y yocto 10 <sup>-24</sup>	

Velocità della luce nel vuoto

c = 299 792 458

m • s<sup>-1</sup>

(\*) prefissi che non sono compresi nel Sistema Internazionale «SI».

## *Alcuni valori caratteristici*

### Valori della Terra

Accelerazione centripeta di rotazione a $\varphi = 45^\circ$	0,023 955	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$	
Accelerazione centripeta di rotazione a $\varphi = 45^\circ$	0,023 955	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$	
Accelerazione centripeta media di rivoluzione	0,005 930	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$	
Accelerazione di gravità a Cagliari q = 0 m (slm)	9,801 11	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$	
Accelerazione di gravità alla distanza del punto abarico	0,003 3	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$	
Accelerazione di gravità nell'orbita sincrona	0,224 3	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$	
Albedo medio	0,35 ÷ 0,45 [35 % ÷ 45 %]		
Accelerazione di gravità sulla superficie	ali'equatore $\varphi = 0^\circ$	9,780	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$
	a $\varphi = 45^\circ$	9,806	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$
	ai poli $\varphi = \pm 90^\circ$	9,832	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$
Accelerazione centripeta di rotazione	all'equatore $\varphi = 0^\circ$	0,033 878	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$
	a $\varphi = 45^\circ$	0,023 955	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$
	ai poli $\varphi = \pm 90^\circ$	0,000 000	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$
Anno anomalistico è l'intervallo di tempo fra due successivi passaggi del centro della Terra al perielio, nel corso del moto di rivoluzione	365 <sup>g</sup> 06 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 52,982 <sup>s</sup> 365,259 640 995 370 <sup>g</sup> 31 558 432,982 <sup>s</sup>	In tempo medio solare	
Anno besseliano ha una durata uguale a quella dell'anno solare, ma inizia convenzionalmente nel momento in cui la longitudine media del Sole è di 280°	365 <sup>g</sup> 05 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 45,975 <sup>s</sup> 365,242 198 784 722 <sup>g</sup> 31 556 925,975 <sup>s</sup>	In tempo medio solare	
Anno draconico (o eclittico) è l'intervallo di tempo fra due successivi passaggi del centro del Sole per il nodo ascendente dell'orbita lunare	346 <sup>g</sup> 14 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 54,556 <sup>s</sup> 346,620 075 883 <sup>g</sup> 29 947 974,556 <sup>s</sup>	In tempo medio solare	
Anno siderale (o sidereo o astrale) è l'intervallo di tempo fra due successivi allineamenti di una stella, supposta fissa	365 <sup>g</sup> 06 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 09,504 <sup>s</sup> 365,256 360 <sup>g</sup> 31 558 149,504 <sup>s</sup>	In tempo medio solare	
Anno civile (o comune) è composto o da 366 o da 365 giorni solari medi interi a seconda che sia <i>bisestile</i> o meno	365 <sup>g</sup> 00 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 00,000 <sup>s</sup> 365,000 000 <sup>g</sup> 31 536 000,000 <sup>s</sup>	In tempo medio solare	
Anno tropico (o solare) l'intervallo di tempo fra due successivi passaggi del centro del Sole all'equinozi di primavera ,o parimenti, de passaggio del centro della Terra nel punto $\gamma$	365 <sup>g</sup> 05 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 45,975 <sup>s</sup> 365,242 198 784 722 <sup>g</sup> 31 556 925,975 <sup>s</sup>	In tempo medio solare	
Campo magnetico terrestre a Washington	$5,7 \bullet 10^{-5}$	$\text{W} \bullet \text{m}^2$	
Centro di massa medio <i>Terra – Luna</i> (dal centro della Terra)	4 727 000	m	
Centro di massa medio <i>Terra – Luna</i> (sotto la superficie terrestre)	1 644 200	m	
Centro di massa medio <i>Terra-Sole</i> (dal centro del Sole)	449 250	m	
Centro di massa medio <i>Terra-Sole</i> (sotto la superficie del Sole)	695 550 750	m	
Circonferenza media	40 030 174	m	
Coefficiente di potenziale della forza centrifuga all'equatore	0,003 449 790		
Costante gravitazionale geocentrica ( <i>Costante gravitazionale planetaria</i> riferita alla Terra)	$3,986\ 004\ 418 \bullet 10^{14}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{m}^3 \bullet \text{s}^{-2} \\ \text{N} \bullet \text{m}^2 \bullet \text{kg}^{-2} \end{array} \right.$	



Costante solare	1,353	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
Diametro apparente della Luna (vista dalla Terra)	minimo = 29' 23,2" medio = 31' 05,2" massimo = 33' 28,8"	Gradi sessagesimali
Diametro apparente del Sole (visto dalla Terra)	minimo = 31' 28" medio = 31' 59,26" massimo = 32' 34"	Gradi sessagesimali
Diametro medio	12 742 000	m
Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale fra <i>Terra</i> e <i>Luna</i> (dal centro della Terra)	$3,459\,060 \cdot 10^8$	m
Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale fra <i>Terra</i> e <i>Sole</i> (dal centro della Terra)	$2,588\,000 \cdot 10^8$	m
Distanza fra i baricentri della <i>Terra</i> e del <i>Sole</i>	minima = $1,471 \cdot 10^{11}$ media = $1,496 \cdot 10^{11}$ massima = $1,521 \cdot 10^{11}$	m m m
Distanza fra i baricentri della <i>Terra</i> e della <i>Luna</i>	minima = $3,692 \cdot 10^8$ media = $3,843\,4 \cdot 10^8$ massima = $4,051 \cdot 10^8$	m m m
Eccentricità dell'orbita di rivoluzione	0,0167	
Energia cinetica rotazionale	$2,155 \cdot 10^{29}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{J} \end{array} \right.$
Energia cinetica totale all'equatore	$2,155 \cdot 10^{29}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{J} \end{array} \right.$
Energia cinetica totale alla latitudine di $\varphi = \pm 45^\circ$	$2,155 \cdot 10^{29}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{J} \end{array} \right.$
Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria, all'equatore	107 917,753	$\left\{ \begin{array}{l} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{J} \end{array} \right.$
Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria, alla latitudine di $\varphi = \pm 45^\circ$	53 958,753	$\left\{ \begin{array}{l} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{J} \end{array} \right.$
Età delle Terra	$4,6 \cdot 10^9$	anni
Forza media di attrazione fra <i>Terra</i> e <i>Luna</i>	$1,984 \cdot 10^{20}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{N} \end{array} \right.$
Forza media di attrazione fra <i>Terra</i> e <i>Sole</i>	$3,544 \cdot 10^{22}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{N} \end{array} \right.$
Giorno siderale (o sidereo) è l'intervallo di tempo compreso fra due passaggi, o culminazioni, consecutive di un punto del cielo non contrassegnato da alcuna stella, detto <i>punto equinoziale di primavera</i> , o «punto $\gamma$ », al meridiano superiore del luogo.	$23^{\text{h}}\,56^{\text{m}}\,04,091^{\text{s}}$ $23,934\,469\,722\,222^{\text{h}}$ $86\,164,091^{\text{s}}$	
Giorno solare medio è l'intervallo medio di tempo compreso fra due passaggi consecutivi del Sole nel meridiano superiore del luogo.	$24^{\text{h}}\,03^{\text{m}}\,56,555^{\text{s}}$ $24,065\,709\,722\,222^{\text{h}}$ $86\,636,555^{\text{s}}$	

Giorno stellare è l'intervallo di tempo compreso fra due passaggi , o culminazioni, consecutivi della medesima stella al meridiano superiore del luogo.	$23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 04,099^{\text{s}}$ $23,934\ 471\ 944\ 444^{\text{h}}$ $86\ 164,099^{\text{s}}$	
Inclinazione, del piano equatoriale, rispetto alla perpendico- lare all'ecclitica	$23^{\circ} 26' 52''$	gradi sessagesimali
Lunghezza dell'orbita di rivoluzione	$9,400 \bullet 10^{11}$	m
Magnitudine	- 4	
Massa degli oceani	$1,422 \bullet 10^{21}$	kg
Massa dell'atmosfera	$5,098 \bullet 10^{18}$	kg
Massa totale	$5,976 \bullet 10^{24}$	kg
Massa volumica dell'acqua distillata a 253,15 K (20 °C)	998,23	kg • m <sup>-3</sup>
Massa volumica dell'acqua distillata a 269,17 K (3,98 °C)	999,973	kg • m <sup>-3</sup>
Massa volumica dell'acqua distillata a 273,15 K (0 °C)	999,87	kg • m <sup>-3</sup>
Massa volumica dell'aria secca a 253,15 K (20 °C)	1 204,79	kg • m <sup>-3</sup>
Massa volumica dell'aria secca a 273,15 K (0 °C)	1 292,8	kg • m <sup>-3</sup>
Massa volumica della Terra (densità)	5 518	kg • m <sup>-3</sup>
Massa volumica media dell'acqua degli oceani	1 029	kg • m <sup>-3</sup>
Massa volumica media della crosta terrestre	2 570	kg • m <sup>-3</sup>
Massima altezza di una cascata (Angel)	978	m
Massima altitudine (Everest)	8 882	m
Massima ampiezza di marea (Baia di Fundy - Canada)	19,6	m
Massima lunghezza di un fiume (Nilo-Kagera)	6 671	m
Massima profondità di un lago (Bajkal)	1 523	m
Massima profondità oceanica (abisso Challenger)	10 863	m
Massima superficie di un lago ( Mar Caspio)	$4,233 \bullet 10^{11}$	m <sup>2</sup>
Momento di dipolo magnetico	$6,4 \bullet 10^{21}$	A • m <sup>2</sup>
Momento principale di inerzia della Terra	$8,104 \bullet 10^{37}$	kg • m <sup>2</sup>
Parallasse solare	8,798"	gradi sessagesimali
Quota del punto medio di equilibrio gravitazionale fra <i>Terra</i> e <i>Luna</i> (dalla superficie terrastre)	339 535 000	m
Quota del punto abarico medio <i>Terra – Sole</i> (dalla superficie terrastre)	252 429 000	m
Quota dell'orbita sincrona, o geostazionaria, dalla superfi- cie	35 793 126	m
Raggio della sfera di ugual volume (secondo WGS84)	6 371 000,790	m
Raggio medio	6 371 200	m
Rapporto fra la <i>superficie delle terre emerse</i> e la <i>superficie</i> <i>degli oceani</i>	0,41 [41 %]	
Rapporto fra il <i>volume della Terra</i> e il <i>volume della Luna</i>	49,250	
Rapporto fra il <i>volume della Terra</i> e il <i>volume del Sole</i>	$0,767 \bullet 10^{-6}$	

Rapporto fra la <i>massa della Terra</i> e la <i>massa della Luna</i>	81,295	
Rapporto fra la <i>massa della Terra</i> e la <i>massa del Sole</i>	$3,003 \cdot 10^{-6}$	
Rapporto fra la <i>densità della Terra</i> e la <i>densità della Luna</i>	1,651	
Rapporto fra la <i>densità della Terra</i> e la <i>densità del Sole</i>	3,916	
Rapporto fra la <i>gravità della Terra</i> e la <i>gravità della Luna</i>	6,056	
Rapporto fra la <i>gravità della Terra</i> e la <i>gravità del Sole</i>	0,035	
Rapporto fra la <i>velocità di fuga dalla Terra</i> e la <i>velocità di fuga dalla Luna</i>	4,711	
Rapporto fra la <i>velocità di fuga dalla Terra</i> e la <i>velocità di fuga dal Sole</i>	0,018	
Schiacciamento (meno usato il termine <i>appiattimento</i> )	0,003 [3 %]	
Superficie degli oceani	$3,611 \cdot 10^{14}$	m <sup>2</sup>
Superficie delle terre emerse	$1,490 \cdot 10^{14}$	m <sup>2</sup>
Superficie totale	$5,101 \cdot 10^{14}$	m <sup>2</sup>
Temperatura del nucleo	6000	K
Tempo impiegato dalla luce a percorrere la distanza media <i>Terra - Luna</i>	1,281 <sup>s</sup>	
Tempo impiegato dalla luce a percorrere la distanza media <i>Terra - Sole</i>	8 <sup>m</sup> 18,667 <sup>s</sup>	
Velocità angolare di rotazione	0,000 072 921 16 0,004 178 074 6	rad • s <sup>-1</sup> ° • s <sup>-1</sup>
Velocità di evasione, o di fuga, dalla superficie	11 180 40 248	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Velocità di sostentazione alla quota sincrona, o geostazionaria	3 074,675 11 068,830	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Velocità di sostentazione in prossimità della superficie	7 906 28 462	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Velocità orbitale	<div> <div>al perielio</div> <div>media</div> <div>all'afelio</div> </div> <div> <div> <div>{</div> <div>29 287</div> <div>105 433</div> </div> <div> <div>{</div> <div>29 785</div> <div>107 226</div> </div> <div> <div>{</div> <div>30 283</div> <div>109 018</div> </div> </div>	<div> <div>m • s<sup>-1</sup></div> <div>km • h<sup>-1</sup></div> <div>m • s<sup>-1</sup></div> <div>km • h<sup>-1</sup></div> <div>m • s<sup>-1</sup></div> <div>km • h<sup>-1</sup></div> </div>
Velocità tangenziale di rotazione ai Poli	0,000 (nulla)	m • s <sup>-1</sup>
Velocità tangenziale di rotazione all'equatore	464 581 1 672 492	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Velocità tangenziale di rotazione alla latitudine di $\varphi = \pm 45^\circ$	328,508 1 182,629	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Volume dell'acqua atmosferica	$1,3 \cdot 10^{13}$	m <sup>3</sup>
Volume dell'acqua delle calotte glaciali e dei ghiacciai	$2,920 \cdot 10^{16}$	m <sup>3</sup>
Volume dell'acqua negli oceani	$1,322 \cdot 10^{18}$	m <sup>3</sup>
Volume totale	$1,083 \cdot 10^{21}$	m <sup>3</sup>

Volume totale dell'acqua nella Terra e nella sua atmosfera	$1,360 \cdot 10^{18}$	$\text{m}^3$
--	-----------------------	--------------

## Valori della Luna

Accelerazione centripeta di rotazione a $\varphi = \pm 45^\circ$	0,000 008 7	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Accelerazione centripeta di rotazione ai poli	0,000 (nulla)	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Accelerazione centripeta di rotazione all'equatore	0,000 012	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Accelerazione centripeta media di rivoluzione	0,002 723	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Accelerazione centripeta media di rivoluzione	0,002 723	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Accelerazione di gravità alla distanza del punto abarico	0,003 3	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Accelerazione di gravità media sulla superficie	1,625	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Accelerazione di gravità nell'orbita sincrona	0,000 6	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Albedo medio	0,073 [7,3%]	
Centro di massa medio Luna-Terra (dal centro della Luna)	379 573 000	m
Circonferenza media all'equatore	10 920 176	m
Coefficiente di potenziale della forza centrifuga all'equatore	0,000 000 758	
Costante gravitazionale planetaria	$4,902\,777\,9 \cdot 10^{12}$	$\begin{cases} \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \end{cases}$
Diametro medio	3 476 000	m
Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale fra <i>Terra</i> e <i>Luna</i> (dal centro della Luna)	38 434 000	m
Distanza fra i baricentri della <i>Luna</i> e della <i>Terra</i>	minima = $3,629 \cdot 10^8$ media = $3,843 \cdot 10^8$ massima = $4,051 \cdot 10^8$	m m m
Eccentricità dell'orbita di rivoluzione	0,054 9	
Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria, all'equatore	10,999	$\begin{cases} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \\ \text{J} \end{cases}$
Forza media di attrazione fra <i>Luna</i> e <i>Terra</i>	$1,984 \cdot 10^{20}$	N
Inclinazione media del piano orbitale rispetto all'eclittica	5° 08' 43"	gradi sessagesimali
Librazione massima in latitudine	7° 54'	
Librazione massima in longitudine	6° 50'	
Lunghezza dell'orbita di rivoluzione	$2,416 \cdot 10^9$	m
Magnitudine	+ 0,5	
Massa totale	$7,351 \cdot 10^{22}$	kg
Massa volumica (densità)	3 343,785	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Mese anomalistico è l'intervallo di tempo fra due successivi passaggi del centro della Luna al <i>perigeo</i> , punto più vicino alla Terra	$27^g\,13^h\,18^m\,33,2^s$ $27,554\,550\,926^g$ $2\,380\,713,2^s$	In tempo medio solare

Mese draconico (o nodale) è l'intervallo di tempo fra due successivi passaggi del centro della Luna sullo stesso nodo	27 <sup>g</sup> 05 <sup>h</sup> 05 <sup>m</sup> 35,9 <sup>s</sup> 27,212 221 065 <sup>g</sup> 2 351 135,9 <sup>s</sup>	In tempo medio solare
Mese siderale (o sidereo) è l'intervallo di tempo fra due successivi passaggi del centro della Luna rispetto ad una stella considerata fissa.	27 <sup>g</sup> 07 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 11,5 <sup>s</sup> 27,321 660 880 <sup>g</sup> 2 360 591,5 <sup>s</sup>	In tempo medio solare
Mese sinodico (o lunazione) è l'intervallo di tempo impiegato dalla Luna per ritornare alla medesima fase.	29 <sup>g</sup> 12 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup> 02,8 <sup>s</sup> 29,530 587 963 <sup>g</sup> 2 551 442,8 <sup>s</sup>	In tempo medio solare
Mesi nodali al giorno medio	0,036 748 195 183 5 <sup>g</sup>	
Moto apparente nel cielo	0° 33'	° • h <sup>-1</sup>
Periodo di rivoluzione della linea dei nodi	18,6	anni
Diametro apparente della Luna (vista dalla Terra)	minimo = 29' 20" medio = 31' 25" massimo = 33' 30"	gradi sessagesimali
Diametro apparente della Terra (vista dalla Luna)	minimo 0° 55' 10" medio 0° 58' 13" massimo 1° 00' 39"	gradi sessagesimali
Quota del punto medio di equilibrio gravitazionale fra <i>Luna</i> e <i>Terra</i> (dalla superficie lunare)	36 696 000	m
Quota dell'orbita sincrona, o geostazionaria, dalla superficie	86 716 120	m
Raggio medio	1 738 000	m
Rapporto fra il <i>volume della Luna</i> e il <i>volume della Terra</i>	0,203 • 10 <sup>-1</sup>	
Rapporto fra la <i>massa della Luna</i> e la <i>massa della Terra</i>	0,012	
Rapporto fra la <i>densità della Luna</i> e la <i>densità della Terra</i>	0,606	
Rapporto fra la <i>gravità della Luna</i> e la <i>gravità della Terra</i>	0,165	
Rapporto fra la <i>gravità della Luna</i> e la <i>gravità del Sole</i>	0,006	
Rapporto fra la <i>velocità di fuga dalla Luna</i> e la <i>velocità di fuga dalla Terra</i>	0,212	
Spostamento giornaliero rispetto alle stelle	13,176 358°	° • g <sup>-1</sup>
Superficie totale	3,796 • 10 <sup>13</sup>	m <sup>2</sup>
Superficie visibile dalla terra	59%	
Temperatura massima nelle zone al sole	+130	°C
Temperatura minima nelle zone in ombra	+185	°C
Velocità angolare di rotazione	0,000 002 893 0,004 178 076	rad • s <sup>-1</sup> ° • s <sup>-1</sup>
Velocità di allontanamento dalla Terra	38	mm • anno <sup>-1</sup>
Velocità di evasione, o di fuga, dalla superficie	2,377 8,557	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Velocità di sustentazione alla quota sincrona, o geostazio- naria	2 355,35 8 479,260	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Velocità di sustentazione in prossimità della superficie	1 678 6 041	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>

Velocità orbitale	al perigeo	$\left\{ \begin{array}{l} 966 \\ 3\,478 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{m} \bullet \text{s}^{-1} \\ \text{km} \bullet \text{h}^{-1} \end{array} \right.$
	media	$\left\{ \begin{array}{l} 1\,023 \\ 3\,683 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{m} \bullet \text{s}^{-1} \\ \text{km} \bullet \text{h}^{-1} \end{array} \right.$
	all'apogeo	$\left\{ \begin{array}{l} 1\,078 \\ 3\,881 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{m} \bullet \text{s}^{-1} \\ \text{km} \bullet \text{h}^{-1} \end{array} \right.$
Velocità tangenziale di rotazione ai poli	0,000 (nulla)		$\text{m} \bullet \text{s}^{-1}$
Velocità tangenziale di rotazione all'equatore	4 626 16 653,6		$\left\{ \begin{array}{l} \text{m} \bullet \text{s}^{-1} \\ \text{km} \bullet \text{h}^{-1} \end{array} \right.$
Velocità tangenziale di rotazione alla latitudine di $\varphi = \pm 45^\circ$	3 271 11 775,6		$\left\{ \begin{array}{l} \text{m} \bullet \text{s}^{-1} \\ \text{km} \bullet \text{h}^{-1} \end{array} \right.$
Volume totale	$2\,199 \bullet 10^{19}$ 21,99		$\left\{ \begin{array}{l} \text{m}^3 \\ \text{Zm}^3 \end{array} \right.$

Valori del Sole

Accelerazione centripeta di rotazione all'equatore	0,004 948	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$
Accelerazione di gravità sulla superficie dell'astro	274	$\text{m} \bullet \text{s}^{-2}$
Centro di massa medio Sole-Terra (dal centro del Sole)	449 250	m
Circonferenza media	4 373 096 974	m
Costante gravitazionale eliocentrica (Costante gravitazionale planetaria riferita al Sole)	$1,327\,124\,400\,2 \bullet 10^{20}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{m}^3 \bullet \text{s}^{-2} \\ \text{N} \bullet \text{m}^2 \bullet \text{kg}^{-2} \end{array} \right.$
Densità del nucleo	100	$\text{kg} \bullet \text{m}^{-3}$
Diametro medio apparente del Sole (visto dalla Terra)	31' 59,26"	gradi sessagesimali
Diametro medio	13 392 000 000	m
Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale fra Sole e Terra (contato dal centro del Sole)	$1,493\,412 \bullet 10^{11}$	m
Distanza fra i baricentri del Sole e della Terra	minima media massima	$\left\{ \begin{array}{l} = 1,471 \bullet 10^{11} \\ = 1,496 \bullet 10^{11} \\ = 1,521 \bullet 10^{11} \end{array} \right.$ m m m
Energia di radiazione emessa dalla superficie	$6,340 \bullet 10^7$	$\text{J} \bullet \text{m}^{-2} \bullet \text{s}^{-1}$
Energia totale disponibile (riserva d'energia)	$1,8 \bullet 10^{47}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{kg} \bullet \text{m}^2 \bullet \text{s}^{-2} \\ \text{J} \end{array} \right.$
Energia totale media prodotta dal Sole nell'unità di tempo (potenza totale erogata o Luminosità)	$3,326 \bullet 10^{31}$ $3,86 \bullet 10^{26}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{J} \bullet \text{anno}^{-1} \\ \text{J} \bullet \text{s}^{-1} = \text{W} \end{array} \right.$
Forza media di attrazione fra Sole e Terra	$3,544 \bullet 10^{22}$	N
Inclinazione dell'asse di rotazione rispetto alla perpendicolare al piano dell'eclittica	7° 15'	gradi sessagesimali
Luminosità apparente	- 26,8	
Magnitudine assoluta fotovisuale	+ 4,84	
Massa totale	$1,990 \bullet 10^{30}$	kg

Massa volumica (densità)	1,409	kg • m <sup>-3</sup>
Periodo di rotazione ad alcune latitudini	a φ = 0°: 27 <sup>g</sup> 06 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> a φ = 30°: 28 <sup>g</sup> 05 <sup>h</sup> a φ = 60°: 30 <sup>g</sup> 19 <sup>h</sup> a φ = 80°: 31 <sup>g</sup> 20 <sup>h</sup>	In tempo medio solare
Quota del punto medio di equilibrio gravitazionale fra <i>Sole</i> e <i>Terra</i> (dalla superficie solare)	1,486 452 • 10 <sup>11</sup>	m
Raggio medio	696 000 000	m
Rapporto fra il <i>volume del Sole</i> e il <i>volume della Terra</i>	1 303 785,780	
Rapporto fra la <i>massa del Sole</i> e la <i>massa della Terra</i>	332 999,661	
Rapporto fra la <i>densità del Sole</i> e la <i>densità della Terra</i>	0,255	
Rapporto fra la <i>gravità del Sole</i> e la <i>gravità della Terra</i>	28,338	
Rapporto fra la <i>gravità del Sole</i> e la <i>gravità della Luna</i>	169,136	
Rapporto fra la <i>velocità di fuga dal Sole</i> e la <i>velocità di fuga dalla Luna</i>	260,254	
Rapporto fra la <i>velocità di fuga dal Sole</i> e la <i>velocità di fuga dalla Terra</i>	55,240	
Superficie totale	6,087 • 10 <sup>18</sup>	m <sup>2</sup>
Temperatura alla superficie	5780	K
Temperatura della Corona	2 000 000	K
Temperatura del nucleo	14 000 000	K
Tempo impiegato dalla luce a percorrere la distanza media <i>Sole - Terra</i>	8 <sup>m</sup> 18,667 <sup>s</sup>	In tempo medio solare
Tipo spettrale	G2	
Velocità di evasione, o di fuga, dalla superficie	617 582 2 223 295	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Velocità di sustentazione in prossimità della superficie	436 696 1 572 106	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Volume totale	1,412 • 10 <sup>27</sup>	m <sup>3</sup>

## Valori del Sistema solare

Confini del sistema solare (orbita di Plutone)	5,9 • 10 <sup>9</sup>	km
Distanza del <i>Sistema solare</i> dal centro della Galassia	27 700 2,620 • 10 <sup>17</sup>	anni luce km
Distanza del <i>Sistema solare</i> sopra il piano equatoriale della Galassia	20 1,892 • 10 <sup>14</sup>	anni luce km
Numero di pianeti ( <b>Plutone</b> è stato declassato a <i>Pianeta nano</i> )	8	n°
Periodo di rivoluzione del <i>Sistema solare</i> attorno al centro della <i>Galassia</i>	225 000 000	anni
Velocità di evasione, o di fuga, dal <i>Sistema solare</i>	16 700 60 120	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Velocità media del <i>Sistema solare</i> verso <i>Vega</i>	20 000 72 000	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>
Velocità tangenziale di rotazione attorno al centro della <i>Galassia</i>	250 000 900 000	m • s <sup>-1</sup> km • h <sup>-1</sup>

Valori della Galassia

Il primo tentativo di descrivere la forma della **Via Lattea** e la posizione del **Sole** al suo interno fu del ed a-stronomo e fisico e compositore tedesco Sir **Frederick William Herschel**, in tedesco: *Friedrich Wilhelm*, (1738 – 1822) nel 1785, attraverso un conteggio scrupoloso del numero di stelle in seicento regioni differenti del cielo; disegnò in seguito un diagramma della forma della **Galassia**, la nostra galassia (dal greco *galaxias*, latteo), con-siderando, però, erroneamente, il **Sole** nei pressi del suo centro

Galassia a spirale	tipo	Sb	
Centro galattico	ascensione retta	17 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 40,04 <sup>s</sup>	tempo medio
	declinazione	-29° 00' 28,1"	
	distanza	27 000	Anni luce
Densità di stelle		1 ogni 125	anni luce <sup>3</sup>
Diametro		100 000	anni luce
		9,460 • 10 <sup>20</sup>	km
Distanza del <i>Sistema solare</i> sopra il piano equatoriale della Galassia		20	anni luce
		1,892 • 10 <sup>17</sup>	km
Intensità del campo magnetico		3,5 • 10 <sup>-6</sup>	gauss
Luminosità (L☉ = luminosità del Sole)		2 • 10 <sup>10</sup>	L☉
Massa		1,740 • 10 <sup>33</sup>	kg
Periodo medio di rotazione		2,4 • 10 <sup>8</sup>	anni
Numero di stelle presenti		4 • 10 <sup>11</sup>	
Separazione media fra stelle		5	anni luce
Spessore del disco centrale (Bulge)		15 000	anni luce
		1,419 • 10 <sup>20</sup>	km
Spessore medio dei bracci alla distanza di 27 000 anni luce dal centro della Ga- lassia		1 000	anni luce
		9,460 528 • 10 <sup>18</sup>	km
Stella più vicina al Sole <b>Proxma Centauri</b> ; distante da esso		4,3	anni luce
Velocità angolare media di rotazione		0,826	rad • s <sup>-1</sup>
		2,618 • 10 <sup>-8</sup>	rad • anno <sup>-1</sup>
Buco nero al centro della Galassia (Via lattea) <b>Sagittarius A*</b> (pronunciato «Sagittarius A-star», abbreviato in <b>Sgr A*</b> )		4,3 • 10 <sup>6</sup>	masse solari
		10 <sup>10</sup>	m
		raggio di <b>Schwarzschild</b>	

Valori dell’universo

Costante di Hubble	circa	72	km • s <sup>-1</sup> • Mpc <sup>-1</sup>
Età stimata	circa	13,8 • 10 <sup>9</sup>	anni
Diametro stimato	circa	93 • 10 <sup>9</sup>	Anni luce
Numero di galassie stimato	circa	2 • 10 <sup>12</sup>	
Numero di stelle stimato	circa	7 • 10 <sup>22</sup>	



## *Distanza media dei pianeti dal Sole*

Pianeta	Distanza media dal Sole r = km	Distanza media r <sub>1</sub> = au	Distanza media tempo luce	Legge di Titius - Bode formule	Valori di Titius t <sub>1</sub> = au	Distanza teorica di Titius t = km	Differenza r - t km	P r / t r <sub>1</sub> / t <sub>1</sub>	P - 1 %
<b>Mercurio</b>	57 910 000	0,387	3 <sup>m</sup> ,22	0,4	0,4	59 840 000	- 1 930 000	0,968	- 3,2
<b>Venere</b>	108 200 000	0,723	6 <sup>m</sup> ,02	0,4 + 0,3 • 2 <sup>0</sup>	0,7	104 720 000	+ 3 480 000	1,033	+ 3,3
<b>Terra</b>	149 600 000	1,000	8 <sup>m</sup> ,32	0,4 + 0,3 • 2 <sup>1</sup>	1	149 600 000	0	1	0,0
<b>Marte</b>	227 940 000	1,524	12 <sup>m</sup> ,67	0,4 + 0,3 • 2 <sup>2</sup>	1,6	239 360 000	- 11 420 000	0,952	- 4,8
<b>Asteroidi</b>	418 880 000	2,800	23 <sup>m</sup> ,29	0,4 + 0,3 • 2 <sup>3</sup>	2,8	418 880 000	0	1	0,0
<b>Giove</b>	778 330 000	5,203	43 <sup>m</sup> ,27	0,4 + 0,3 • 2 <sup>4</sup>	5,2	777 920 000	+ 410 000	1,000	+ 0,0
<b>Saturno</b>	1 429 400 000	9,555	1 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> ,47	0,4 + 0,3 • 2 <sup>5</sup>	10	1 496 000 000	- 66 600 000	0,955	- 4,5
<b>Urano</b>	2 870 990 000	19,191	2 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> ,61	0,4 + 0,3 • 2 <sup>6</sup>	19,6	2 932 160 000	- 61 170 000	0,979	- 2,1
<b>Nettuno</b>	4 504 300 000	30,109	4 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> ,41	0,4 + 0,3 • 2 <sup>7</sup>	38,8	5 804 480 000	- 1 300 180 000	0,776	- 22,4
<b>Plutone</b>	5 913 520 000	39,529	5 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> ,76	0,4 + 0,3 • 2 <sup>8</sup>	77,2	11 549 120 000	- 5 635 600 000	0,512	- 48,4

Non considerando Nettuno, Plutone risulterebbe, nella serie, al nono posto e si avrebbe:

<b>Plutone</b>	5 913 520 000	39,529	5 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> ,76	0,4 + 0,3 • 2 <sup>7</sup>	38,8	5 804 480 000	277 920 000	1,019	+ 1,9
----------------	---------------	--------	------------------------------------	----------------------------	------	---------------	-------------	-------	-------

Nel 2006 circa 2 500 scienziati, riuniti nell'assemblea dell'**International astronomical Union (IAU)**, decretarono il *declassamento* di **plutone** a «Pianeta nano».

Pertanto Plutone non è più il nono pianeta del Sistema Solare, ma quest'ultimo ha, attualmente, solo otto pianeti.

## Caratteristiche dei Pianeti del Sistema solare

Caratteristiche	Mercurio	Venere	Terra	Marte	Giove	Saturno	Urano	Nettuno	Plutone
Massa [kg • 10 <sup>24</sup> ]	0,330 3	4,870 0	5,976 0	0,642 2	1 900,000	568,800	86,840	102,400	0,012 900
Massa (Terra = 1)	0,055 271	0,814 926	1,000	0,107 463	317,938	95,181	14,531	17,135	0,002 158
Raggio equatoriale [km]	2 439,0	6 051,0	6 378,137	3 397,2	71 492	60 268	25 559	24 764	1 137
Raggio (Terra = 1)	0,382 400	0,948 710	1,000	0,532 632	11,208 92	9,449 154	4,007 283	3,882 638	0,178 265
Schiacciamento	0,000	0,000	0,003 353	0,005 2	0,069 4	0,098 0	0,002 29	0,0017	0,000
Raggio polare [km]	2 439,0	6 051,0	6 356,752	3 379,5	66 530	54 362	25 500	24 722	1 137
Densità media [kg • m <sup>-3</sup> ]	5 453	5 265	5 515	3 923	1 245	622	1 246	1 615	1 208
Densità media (Terra = 1)	0,989	0,955	1	0,711	0,226	0,113	0,226	0,293	0,219
Volume [m <sup>3</sup> • 10 <sup>21</sup> ]	0,060 573	0,924 950	1,083 359	0,163 683	1525,564	913,940 7	69,708 70	63,404 44	0,001 068
Volume (Terra = 1)	0,055 92	0,853 90	1,000	0,15111	1 408,377	843,736	64,354	58,534	0,000 986
Accelerazione di gravità [m • s <sup>-2</sup> ]	3,63	8,63	9,81	3,73	22,96	9,12	7,77	11,0	0,4 ?
Accelerazione di gravità (Terra = 1)	0,37	0,88	1	0,38	2,34	0,93	0,79	1,12	0,04 ?
Velocità di fuga [m • s <sup>-1</sup> ] [km • h <sup>-1</sup> ]	4 225 15 210	10 360 37 296	11 180 40 248	5 000 18 000	59 600 214 560	35 490 127 764	21 300 76 680	23 500 84 600	1 220 4 392
Velocità di fuga (Terra = 1)	0,358	0,878	1	0,424	5,051	3,008	1,805	1,992	0,103
Periodo di rotazione (- retrogrado)	58 <sup>g</sup> 15 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	-243 <sup>g</sup> 00 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup>	23 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup> ,091	24 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup> ,6	9 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup>	10 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup> 23 <sup>s</sup>	-17 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>	16 <sup>h</sup> 06 <sup>m</sup>	6 <sup>g</sup> 09 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup>
Inclinazione dell'equatore sul piano dell'orbita	0°,000	177° 18'	23° 27'	25° 11' 24"	3° 07 ' 12"	26° 43' 48"	97° 51' 36"	28° 18' 36"	17° 08' 52",8
Albedo	0,11	0,65	0,37	0,15	0,52	0,47	0,51	0,41	0,30
Magnitudine visuale	- 1,90	- 4,40	*	- 2,01	- 2,70	- 0,67	+ 5,52	+ 7,84	+ 15,12
Numero di satelliti	0	0	1	2	16	18	20 + 1?	8	1
Temperatura media al suolo [K] g = giorno; n = notte	g = 670 n = 103	g = 753 n = 240	media 295	media 223	media 123	media 93	media 63	media 53	media 43
Temperatura media delle nubi [K]	?	?	?	?	123	93	63	53	43
Pressione atmosferica media [hPa]	10 <sup>-9</sup>	90 000	1 000	6	?	?	?	?	?
Distanza dalla Terra [km • 10 <sup>6</sup> ]	91,7	41,4	*	78,4	628,8	1 277,4	2 719,7	4 347,4	5 665,6
Distanza media dalla Terra [tempo luce]	5 <sup>m</sup> 05 <sup>s</sup> ,88	2 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup> ,10	*	4 <sup>m</sup> 21 <sup>s</sup> ,51	34 <sup>m</sup> 57 <sup>s</sup> ,45	1 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> ,95	2 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup> ,94	4 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup> 41 <sup>s</sup> ,36	5 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup> 58 <sup>s</sup> ,41
Diametro apparente medio del Sole visto dal pianeta	1° 22' 40"	44' 15"	31' 59"	21' 00"	6' 09"	3' 22"	1' 41"	1' 04"	49"
Diametro apparente osservato dalla Terra	4",7 12",7	10" 65"	*	7" 25",1	30",8 50"	15" 20",6	3",4 4",2	2",3	0",23
Distanza media dal sole [km • 10 <sup>3</sup> ]	57 910	108 200	149 600	227 940	778 330	1 429 400	2 870 990	4 504 300	5 913 520
Distanza media dal sole [tempo luce]	3 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup> ,17	6 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> ,92	8 <sup>m</sup> 19 <sup>s</sup> ,01	12 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup> ,32	43 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup> ,23	1 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 27 <sup>s</sup> ,96	2 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup> ,59	4 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 24 <sup>s</sup> ,73	5 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup> ,38
Distanza media dal sole [au]	0,387	0,723	1,00	1,524	5,203	9,555	19,191	30,109	39,592
Periodo di rivoluzione siderale [anni]	0,241	0,615	1,000	1,881	11,862	29,459	84,01	164,788	248,54
Periodo di rivoluzione	87 <sup>g</sup> 23h 15 <sup>m</sup> 21 <sup>s</sup> ,6	224 <sup>g</sup> 15 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup> ,8	1 <sup>a</sup> 06 <sup>g</sup> 09 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup> ,504	1 <sup>a</sup> 321 <sup>g</sup> 29 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> ,2	11 <sup>a</sup> 314 <sup>g</sup> 15 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup> ,2	29 <sup>a</sup> 167 <sup>g</sup> 12 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> ,4	84 <sup>a</sup> 36 <sup>g</sup>	164 <sup>a</sup> 283 <sup>g</sup> 16 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> ,2	248 <sup>a</sup> 197 <sup>g</sup> 02 <sup>h</sup> 24 <sup>s</sup>
Eccentricità dell'orbita	0,205 61	0,006 80	0,01675	0,093 00	0,048 00	0,056	0,046 1	0,009 7	0,2482
Inclinazione dell'orbita rispetto all'eclittica	7° 00' 15"	3° 23'	0°	1° 51'	1° 18'	2° 29'	0° 46'	1° 46'	17° 10'
Velocità orbitale media [m • s <sup>-1</sup> ]	47 880	35 020	29 800	24 140	13 060	9 670	6 800	5 450	4 740
Cubo della <i>distanza dal Sole</i> in «au»	0,058	0,378	1	3,540	140,852	872,353	7 067,939	27 295,37	62 061,51
Quadrato del <i>periodo di rivoluzione</i> in anni	0,058	0,378	1	3,538	140,707	867,833	7 057,680	27 155,08	61 772,13

## Caratteristiche dei Satelliti del Sistema solare

<b>Venere</b>	«Venus»	♀	satelliti: <i>nessuno</i>	
<b>Terra</b>	«Earth»	♂	satelliti: uno	(vedi « <b>valori della Luna</b> »)
<b>Marte</b>	«Mars»	♂		

	Satellite	Distanza dal pian. km	Raggio medio km	Massa kg	Densità kg • m <sup>3</sup>	Alb.	Magni- tutine	Periodo rotaz. giorni	Periodo orbitale giorni	Eccentr. orbitale
I	Phobos	9 370	11	$1,08 \cdot 10^{16}$	1 900	0,07	11,30	S	0,319	0,015 000
II	Deimos	23 460	6	$1,80 \cdot 10^{15}$	1 800	0,08	12,40	S	1,262	0,000 500

### Giove «Jupiter» ♃

	Satellite	Distanza dal pian. Mm	Raggio medio km	Massa kg	Densità kg • m <sup>3</sup>	Alb.	Magni- tutine	Periodo di rot. giorni	Periodo orbit. giorni	Eccentr. orbitale
I	IO	421,6	1821	$8,93 \cdot 10^{22}$	3 530	0,63	5,02	S	1,769	0,004 000
II	Europa	670,9	1565	$4,80 \cdot 10^{22}$	2 990	0,67	5,29	S	3,551	0,009 000
III	Ganymede	1 070,0	2634	$1,48 \cdot 10^{23}$	1 940	0,44	4,61	S	7,155	0,002 000
IV	Callisto	1 883,0	2403	$1,08 \cdot 10^{23}$	1 851	0,20	5,65	S	16,689	0,007 000
V	Amalthea	181,3	94	$7,17 \cdot 10^{18}$	1 800	0,07	14,10	S	0,498	0,003 000
VI	Himalia	11 480,0	93	$9,56 \cdot 10^{18}$	2 800	0,03	14,84	0,4	250,566	0,157 980
VII	Elara	11 737,0	38	$7,77 \cdot 10^{17}$	3 300	0,03	16,77	0,5	259,653	0,207 190
VIII	Pasiphae	23 500,0	25	$1,91 \cdot 10^{17}$	2 900	0,10	17,03	?	-735,000	0,378 000
IX	Sinope	23 700,0	18	$7,77 \cdot 10^{16}$	3 100	0,05	18,30	?	-758,000	0,275 000
X	Lysithea	11 720,0	18	$7,77 \cdot 10^{16}$	3 100	0,06	18,40	?	259,220	0,107 000
XI	Carme	22 600,0	20	$9,56 \cdot 10^{16}$	2 800	0,06	18,00	?	-692,000	0,206 780
XII	Ananke	21 200,0	15	$3,82 \cdot 10^{16}$	2 700	0,06	18,90	?	-631,000	0,168 700
XIII	Leda	11 480,0	8	$5,68 \cdot 10^{15}$	2 700	0,07	20,20	?	238,720	0,147 620
XIV	Thebe	221 900,0	50	$7,77 \cdot 10^{17}$	1 500	0,04	15,70	S	0,675	0,015 000
XV	Adrastea	128 980,0	10	$1,91 \cdot 10^{16}$	4 500	0,05	19,10	?	0,298	?
XVI	Metis	127 960,0	20	$9,56 \cdot 10^{16}$	2 800	0,05	17,50	?	0,295	?

### Saturno «Saturn» ♄

	Satelliti	Distanza dal pian. Gm	Raggio medio km	Massa kg	Densità kg • m <sup>3</sup>	Alb.	Magni- tutine	Periodo di rot. giorni	Periodo orbit. giorni	Eccentr. orbitale
I	Mimas	185,0	199	$3,75 \cdot 10^{19}$	1 140	0,50	12,90	S	0,942	0,020 200
II	Enceladus	238,0	249	$7,30 \cdot 10^{19}$	1 120	1,00	11,70	S	1,370	0,004 520
III	Tethys	294,7	530	$6,22 \cdot 10^{20}$	1000	0,90	10,20	S	1,888	0,000 000
IV	Dione	377,4	560	$1,05 \cdot 10^{21}$	1 440	0,70	10,40	S	2,737	0,002 230
V	Rhea	527,0	764	$2,31 \cdot 10^{21}$	1 240	0,70	9,70	S	4,518	0,001 000
VI	Titan	1 221,9	2575	$1,35 \cdot 10^{23}$	1 880	0,22	8,28	S	15,945	0,029 192
VII	Hyperion	1 481,0	143	$1,77 \cdot 10^{19}$	1 400	0,30	14,19	caotico	21,277	0,104 000
VIII	Iapetus	3 560,8	718	$1,59 \cdot 10^{21}$	1 020	0,20	11,10	S	79,330	0,028 280
IX	Phoebe	12 954,0	110	$4,00 \cdot 10^{18}$	700	0,06	16,45	0,4	-550,480	0,163 260
X	Janus	151,5	89	$1,98 \cdot 10^{18}$	650	0,90	14,00	S	0,695	0,007 000
XI	Epimetheus	151,4	57	$5,59 \cdot 10^{17}$	600	0,80	15,00	S	0,694	0,009 000
XII	Helene	377,4	16	?	?	0,70	18,00	?	2,737	0,005 000
XIII	Telesto	294,7	15	?	?	1,00	18,50	?	1,888	?
XIV	Calypso	294,7	13	?	?	1,00	18,70	?	1,888	?
XV	Atlas	137,7	15	?	?	0,80	18,00	?	0,602	0,000 000
XVI	Prometheus	139,4	46	$2,70 \cdot 10^{17}$	700	0,50	16,00	?	0,613	0,003 000
XVII	Pandora	141,7	42	$2,20 \cdot 10^{17}$	700	0,70	16,00	?	0,629	0,004 000
XVIII	Pan	133,6	10	?	?	0,50	?	?	0,575	?

**Urano «Uranus» ♅**

Satelliti		Distanza dal pian. Gm	Raggio medio km	Massa kg	Densità kg • m <sup>3</sup>	Alb.	Magnitudine	Periodo di rot. giorni	Periodo orbit. giorni	Eccentr. orbitale
I	Ariel	191,0	581	1,35 • 10 <sup>21</sup>	1 670	0,35	14,16	S ?	2,520	0,003 400
II	Umbriel	266,0	585	1,17 • 10 <sup>21</sup>	1 400	0,19	14,81	S ?	4,144	0,005 000
III	Titania	436,0	789	3,53 • 10 <sup>21</sup>	1 710	0,28	13,73	S ?	8,706	0,002 200
IV	Oberon	583,0	761	1,01 • 10 <sup>21</sup>	1 630	0,25	13,94	S ?	13,463	0,000 800
V	Miranda	130,0	236	6,59 • 10 <sup>19</sup>	1 630	0,27	16,30	S ?	4,413	0,002 700
VI	Cordelia	50,0	13	?	?	0,07	24,10	?	0,335	0,000 260
VII	Ophelia	54,0	16	?	?	0,07	23,80	?	0,376	0,009 900
VIII	Bianca	59,0	22	?	?	0,07	23,00	?	0,435	0,000 900
IX	Cressida	62,0	33	?	?	0,07	22,20	?	0,464	0,000 400
X	Desdemona	63,0	29	?	?	0,07	22,50	?	0,474	0,000 130
XI	Juliet	64,0	42	?	?	0,07	21,50	?	0,493	0,000 660
XII	Portia	66,0	55	?	?	0,07	21,00	?	0,513	0,000 000
XIII	Rosalind	70,0	27	?	?	0,07	22,50	?	0,558	0,000 100
XIV	Belinda	75,0	34	?	?	0,07	22,10	?	0,624	0,000 070
XV	Punk	86,0	77	?	?	0,08	20,20	?	0,762	0,000 120
XVI	Caliban	7 200,0	30	?	?	0,07	22,40	?	-579,000	0,082 000
XVII	Sicorax	12 000,0	60	?	?	0,07	20,90	?	-1289,000	0,509 000
XVIII	1986U10	75 000,0	20	?	?	?	?	?	0,623	?
XIX	1999U1	?	20	?	?	0,07	23,30	?	?	?
XX	1999U2	?	15	?	?	0,07	24,30	?	?	?
XXI	1999U3	<i>Incerto</i>	20	?	?	0,07	23,20	?	?	?

**Nettuno «Neptune» ♆**

Satelliti		Distanza dal pian. Gm	Raggio medio km	Massa kg	Densità kg • m <sup>3</sup>	Alb.	Magnitudine	Periodo di rot. giorni	Periodo orbit. giorni	Eccentr. orbitale
I	Tritone	354,8	1353	2,15 • 10 <sup>22</sup>	2 050	0,77	13,47	S	-5,877	0,000 016
II	Nereide	5 513,4	170	?	?	0,40	18,70	?	360,136	0,751 200
III	Naiade	48,0	29	?	?	0,06	24,70	?	0,294	0,000 000
IV	Talassa	50,0	40	?	?	0,06	23,80	?	0,311	0,000 000
V	Despina	52,5	74	?	?	0,06	22,60	?	0,335	0,000 000
VI	Galatea	62,0	79	?	?	0,06	22,30	?	0,429	0,000 000
VII	Larissa	73,6	96	?	?	0,06	22,00	?	0,555	0,001 390
VIII	Proteo	117,6	209	?	?	0,06	20,30	?	1,122	0,000 400

**Plutone «Pluto» ♇ [Pianete nano]**

Satelliti		Distanza dal pian. km	Raggio medio km	Massa kg	Densità kg • m <sup>3</sup>	Alb.	Magnitudine	Periodo di rot. giorni	Periodo orbit. giorni	Eccentr. orbitale
I	Caronte	19 600,0	586	1,90 • 10 <sup>21</sup>	2 240	0,50	16,80	S	6,387	< 0,001

**Distanza dal pianeta:** indica la distanza media del satellite dal proprio pianeta.

**Raggio medio:** indica approssimativamente il raggio che avrebbe il satellite se si potesse considerare sferico; in verità la forma della maggior parte dei satelliti è estremamente irregolare per cui questo valore potrebbe rivelarsi alquanto improprio.

**Densità:** indica la densità media del satellite, *massa volumica*, esprimendo i valori in «kg • m<sup>3</sup>», in questo modo la densità dell'acqua risulterebbe d<sub>H2O</sub> = 1 000 (in genere, per contro, la densità è espressa in «g • cm<sup>3</sup>» in modo che la densità dell'acqua risulti unitaria d<sub>H2O</sub> = 1).

**Magnitudine:** indica la *magnitudine apparente* del satellite quando il pianeta si trova all'*opposizione* rispetto alla Terra (nella condizione più sfavorevole per essere avvistato).

**Periodo di rotazione:** indica quanti giorni il satellite impiega a compiere una *rotazione siderale* (una «S» indica che essa è *sincrona* con il *Periodo di rivoluzione orbitale*).

**Periodo orbitale:** indica quanti giorni il satellite impiega per compiere una *rivoluzione siderale* intorno al proprio pianeta (un numero negativo indica che la rivoluzione è *retrograda*).

## *Periodo e siderale e sinodico*

Il **periodo siderale** (o sidereo) [dal latino: *sideralis*] è la rivoluzione completa, di un astro del sistema solare, rispetto alla **Terra**, prendendo come riferimento una stella fissa.

Il **periodo sinodico** [dal latino tardo: *synodicus*, dal greco: *synodikós*] è l'intervallo di tempo dopo il quale, un astro, riprende la medesima posizione rispetto ed alla **Terra** ed al **Sole**.

Indichiamo, nella seguente tabella, e il **periodo siderale** e il **periodo sinodico** di alcuni pianeti che orbitano intorno al sole (teniamo sempre presente che **Plutone** è stato declassato a **pianeta nano**)..

Pianeta	Periodo siderale giorni terrestri	Periodo sinodico giorni terrestri
Mercurio	87,969	115,88
Venere	224,701	583,92
Marte	686,980	779,94
Giove	4 332,589	398,88
Saturno	10 759,220	378,09
Urano	30 685,400	369,66
Nettuno	60 189,000	367,49
Plutone	90 465,000	366,73

### Curiosità

Nell'attuale astronomia **eliocentrica**, dove i moti planetari si compiono attorno al **Sole**, il **periodo siderale** equivale al **periodo orbitale** del pianeta.

Nell'antica astronomia **geocentrica**, dove i moti avvenivano attorno alla **Terra** immobile, si misuravano **periodi siderali** simili agli odierni per i tre pianeti **superiori** al Sole, che oggi chiamiamo **esterni** all'orbita terrestre, allora noti: Marte, Giove e Saturno.

Erano invece diversi i **periodi siderali** di Mercurio e di Venere; i due pianeti **inferiori**, che oggi chiamiamo **interni**, mostravano di non allontanarsi mai troppo dal Sole e apparivano perciò condividere il moto siderale annuo.

## Ancora sui pianeti

### Nome dei pianeti in greco:

Ἥλιος – Ὑδράργυρος – Ἀφροδίτη – Γη – Φεγγάρι – Ἄρης – Δίας – Κρόνος – Οὐρανός  
Ποσειδῶνας – Πλούτωνας.

### Nome dei pianeti in latino:

Sol – Mercurius – Venus – Terra – Luna – Mars – Jupiter – Saturnus – Uranus Neptunus – Pluto.

### Nome dei pianeti in inglese:

Sun – Mercury – Venus – Earth – Moon – Mars – Jupiter – Saturn – Uranus – Neptune – Pluto.

## Una semplice suddivisione

In base alle *caratteristiche chimico fisiche* i pianeti possono essere distinti in due gruppi. I pianeti di *tipo terrestre*, cioè simili alla Terra; sono presenti nel *sistema solare interno*.

Sono caratterizzati da una temperatura superficiale relativamente alta, dovuta alla vicinanza al Sole, od assenza o basso numero di satelliti naturali, da un'atmosfera molto sottile se confrontata a quella dei giganti gassosi, da dimensioni relativamente piccole (meno di 15 000 chilometri di diametro).



Mercurio



Venere



Terra



Marte

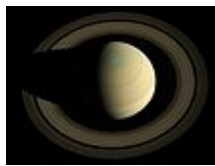
I *giganti gassosi* o i pianeti di *tipo gioviano*, cioè simili a Giove; sono presenti nel *sistema solare esterno*.

I pianeti di tipo gioviano sono composti principalmente da gas, donde il nome di *giganti gassosi*; prototipo di tali pianeti è Giove.

Essi sono caratterizzati da un elevato valore della massa, che consente loro di trattenere un'estesa atmosfera ricca di idrogeno ed elio, e da dimensioni notevoli. Sono accompagnati da un elevato numero di satelliti naturali e da elaborati sistemi di anelli.



Giove



Saturno



Urano



Nettuno

### Curiosità su Nettuno

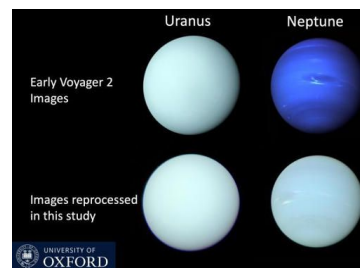
Per decenni abbiamo pensato, osservando i vari testi di astronomia, che **Nettuno**, nonostante abbia caratteristiche quasi identiche a quelle di **Urano**, avesse una tonalità più scura di quest'ultimo il quale, per contro, sembrava possedere la dolcezza dell'acquamarina.

**Voyager 2** ha registrato le sue immagini dei pianeti in due bande di frequenze separate e le immagini di **Nettuno** sono state ed elaborate e modificate in modo tale da enfatizzare il contrasto e approfondire il suo vero colore, facendolo apparire artificialmente, più azzurro di quanto non sia in realtà.

Adesso si è voluto mettere in evidenza che e l'elaborazione e l'interpretazione dei dati raccolti dalla sonda **Voyager 2**, su cui ci era basati fino a questo momento, non erano corretti; applicando il nuovo modello ai dati originali, si è stati in grado di ricostituire la rappresentazione finora più accurata del colore e di **Nettuno** e di **Urano**.

Anche se il colore non naturale di **Nettuno** era già noto all'epoca tra gli scienziati planetari, e le immagini furono pubblicate con didascalie esplicative, quella distinzione si era persa nel tempo.

Le immagini appena rielaborate mostrano che il colore di **Nettuno** è molto più chiaro di quanto pensassimo ed è più vicino a quello di **Urano**; la differenza principale è che **Nettuno** è solo leggermente azzurro, probabilmente il risultato di uno strato più sottile di foschia atmosferica.



## Alcune scoperte

### Urano

Il pianeta **Urano** (Οὐρανός in greco antico) fu scoperto il 13 marzo 1781 dal ed astronomo e fisico e compositore tedesco (naturalizzato britannico) Sir **Frederick William Herschel** (1738 – 1822).

### Nettuno

Il pianeta **Nettuno** fu rivelato per la prima volta nella notte del 23 *settembre* 1846 (fino al primo mattino del 24), all'osservatorio di Berlino dall'astronomo tedesco **Johann Gottfried Galle** (1812 – 1910) [assistito dall'astronomo tedesco **Heinrich Louis d'Arrest** o **Heinrich Ludwig d'Arrest** (1822 – 1875)].

### Plutone

Il pianeta Plutone fu scoperto il 18 *febbraio* 1930 dall'astronomo statunitense **Clyde William Tombaugh** (1906 – 1997); è stato considerato il nono pianeta del sistema solare fino al 24 *agosto* 2006.

## Abbiamo inoltre

### I pianeti nani

I **pianeti nani** sono oggetti celesti e orbitanti attorno a una stella e caratterizzati da una massa sufficiente a conferire loro una forma sferoidale (avendo raggiunto la condizione di equilibrio idrostatico), ma che non sono stati in grado di *ripulire* la propria fascia orbitale da altri oggetti di dimensioni confrontabili; da ciò deriva il fatto che i pianeti nani si trovano all'interno di cinture asteroidali.

Nonostante il nome, un *pianeta nano* non è necessariamente più piccolo di un pianeta.

Si osservi, inoltre, che la classe dei pianeti è distinta da quella dei pianeti nani, e non comprende quest'ultima; i pianeti nani posti oltre l'orbita di Nettuno sono detti *plutoidi*.

### L'UAI riconosce cinque pianeti nani

Nome	Diametro medio km	Massa $\text{kg} \cdot 10^{20}$	Semiasse maggiore au	Periodo di rivoluzione anni	Satelliti noti n°	Fascia asteroidale	Anno di scoperta
Cerere	975 x 909	9,43	2,765	4,6	0	Principale	1801
Plutone	2 370	130,5	39,445	247,92	5	Kuiper	1930
Haumea	1 500	42	42,968	285,4	2	Kuiper	2004
Makemake	1 600 x 2 000	40	45,386	309,87	0	Kuiper	2005
Eris	2 326	167	68,071	557	1	Disco diffuso	2005

Riportiamo, inoltre, il nome dei dodici (12) principali corpi celesti candidati al rango di *pianeti nani*: Haumea 2003 EL<sub>61</sub>, Makemake 2005 FY<sub>9</sub>, Sedna, Orcus, Quaoar, 2002 TX<sub>300</sub>, 200 AW<sub>197</sub>, Varuna, Ixion, Vesta, Pallas, Hygiea.

### I pianetini

Il termine **pianetino** e la locuzione **pianeta minore** sono solitamente utilizzati per designare gli asteroidi. Ciò deriva dal fatto che i primi quattro asteroidi scoperti (*Cerere* – oggi classificato come pianeta nano, *Pallade*, *Giunone*, *Vesta*), furono in effetti considerati dei pianeti veri e propri per circa quarant'anni.

L'asteroide «243 Ida» e della sua luna «Dactyl» ripresi dalla sonda **Galileo**

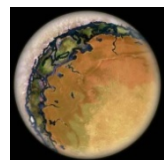
Il primo a suggerire di distinguerli dai pianeti fu e l'astronomo e fisico e compositore tedesco **William Herschel** (1738 – 1822), che propose il termine *asteroide*, ovvero di *aspetto stellare*, riferendosi al fatto che sono oggetti troppo piccoli perché possa essere risolto il loro disco e, di conseguenza, osservati con un telescopio appaiono come le stelle.



### I pianeti occhio

I **pianeti occhio** o **eyeball planets** sono quei pianeti che, bloccati in modo mareale rispetto alla sua stella, avrebbero un lato totalmente arso dal calore della sua stella, ed arido e bollente, mentre l'altro lato sarebbe un'enorme calotta ghiacciata, e fredda e buia; questi pianeti avranno un aspetto molto diverso e sul lato diurno, bulbo oculare caldo, e sul lato notturno, bulbo oculare ghiacciato.

Le differenze potrebbero derivare e da nubi raggruppate in determinate aree, e dallo scioglimento o dall'evaporazione preferenziale del ghiaccio sul lato diurno o dal congelamento del ghiaccio sul lato notturno, o da qualsiasi numero di altre possibili fonti.



### Precisazioni

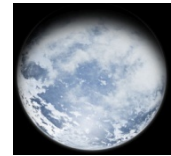
Si dice che un pianeta, o un satellite naturale, è **bloccato in modo mareale** rispetto alla sua Stella, od al suo Pianete, quando ruota alla stessa velocità con cui orbita; in tale situazione rivolge verso di loro sempre un solo lato, mentre l'altro è costantemente rivolto verso l'esterno.

### I pianeti oceanici

I **pianeti oceanici** o **pianeti oceano** sono ipotetici tipi di pianeti caratterizzati dall'avere la superficie completamente ricoperta da un oceano profondo centinaia di chilometri.



Durante la formazione di un sistema planetario, la distanza del pianeta dalla stella centrale è uno dei fattori principali che determinano la composizione dei corpi planetari; nello specifico, quelli che si formano oltre il *limite della neve* del disco planetario hanno un elevato contenuto di sostanze volatili, tra cui acqua ed ammoniaca e metano, pari circa al «50%» del proprio peso; perché una **terra** possa essere considerata un pianeta oceanico è sufficiente che abbia più del «10%» della sua massa composta da acqua.



A destra un'illustrazione di un ipotetico pianeta oceanico.

#### Precisazioni

In *astronomia* ed in *planetologia*, la locuzione **limite della neve** (nota anche come **frost line**) identifica la particolare distanza dalla giovane Stella centrale all'interno di una nebulosa protoplanetaria in cui la temperatura è sufficientemente bassa da permettere ai composti contenenti idrogeno, come l'acqua e l'ammoniaca e il metano, di raggiungere lo stato solido.

Numerose simulazioni numeriche della dinamica dei sistemi planetari in formazione hanno mostrato che i pianeti possono lasciare le regioni in cui si sono formati e migrare, allontanandosi o avvicinandosi rispetto alla stella centrale.

Esiste, pertanto, la possibilità che o un pianeta del sistema planetario esterno o una sua luna ghiacciata, oltrepassi il *limite della neve* giungendo in regioni del sistema in cui l'acqua possa mantenersi allo stato liquido; quando ciò accade, considerando l'alto contenuto di acqua di simili corpi, sul pianeta si forma un vasto oceano che può raggiungere centinaia di chilometri di profondità.

Il principale candidato ad essere un pianeta oceanico è **Gliese 1214 b**, con una massa di « $6,55 \pm 0,98 M_{\oplus}$ » e un raggio medio di « $2,678 \pm 0,13 r_{\oplus}$ »; per confermare tale ipotesi, sono tuttavia necessarie ulteriori osservazioni.

#### Precisazioni

« $M_{\oplus}$ » e « $r_{\oplus}$ » indicano rispettivamente la massa terrestre, pari a « $5,97219 \cdot 10^{24}$  kg» (la determinazione precisa presenta alcune difficoltà) e il raggio medio terrestre pari a «6 371 200 m».

### I pianeti gioviani caldi

Un **pianeta gioviano caldo** o **Giove caldo** o, più raramente, **pianeta di tipo Pegasi** (*Hot Jupiters*), è un pianeta extrasolare la cui massa è o confrontabile o superiore a quella di Giove di ( $1,9 \cdot 10^{27}$  kg), ma che, a differenza di quanto avviene nel sistema solare, dove Giove orbita a circa «5 au» dal Sole, orbita molto vicino alla propria stella madre, tipicamente tra «0,5 au» ( $\approx 75\,000\,000$  km) e «0,015 au» ( $\approx 2\,200\,000$  km), cioè con un periodo di rivoluzione «P» molto breve ( $P < 10$  giorni).

#### Precisazioni

«au» indica l'unità astronomica pari a: « $1,49597870707 \cdot 10^{11}$  m» esatti.

«au» è, dal 2012, l'unica notazione approvata dall'*International Bureau of Weights and Measures*;

«Ua» era la valutazione raccomandata dall'*Unione Astronomica Internazionale* prima del 2012.

Un tipico pianeta gioviano caldo è otto volte più vicino alla superficie della propria stella rispetto a quanto Mercurio dista dal Sole; la temperatura di questi oggetti è, pertanto, di solito elevatissima, da qui l'aggettivo **caldo**.

Il più conosciuto fra i *pianeti gioviani caldi*, e modello base di tale classe di pianeti, è **51 Pegasi b**, soprannominato o **Bellerofonte** o **Bellerophon**; è stato inoltre il primo pianeta extrasolare scoperto (1995) in orbita attorno a una stella simile al Sole.

Rappresentazione artistica di un pianeta gioviano caldo

**51 Pegasi b** (**51 Peg b**), successivamente rinominato **Dimidium**, è un pianeta extrasolare prototipo dei pianeti gioviani caldi e si trova in orbita attorno alla stella 51 Pegasi, nella costellazione di Pegaso.

Dopo la sua scoperta, avvenuta spettroscopicamente nel 1995, molti team di ricerca hanno confermato la sua esistenza e ottenuto maggiori dati sulle sue caratteristiche.



### I pianeti dal periodo ultracorto

I *pianeti dal periodo ultracorto* sono una classe di gioviani caldi il cui periodo di rivoluzione è inferiore al giorno terrestre; essi si trovano solo attorno a stelle di massa inferiore alle «1,25» masse solari.

Orbitano più vicino alla loro stella di ogni altro oggetto descritto precedentemente, con semiassi dell'orbita dell'ordine di solo qualche milione di chilometri; molto spesso il pianeta è talmente vicino alla propria stella che il vento stellare di questa ne consuma l'atmosfera, strappando milioni di tonnellate di gas ogni secondo.

Pianeti gioviani a «0,02 au» dalla stella perderanno durante la propria vita fino al circa «5% - 7%» della propria massa, mentre una distanza inferiore può causare la totale evapora-



zione dell'involucro gassoso, lasciando come residuo il nucleo roccioso completamente spogliato.

Tali oggetti possiedono masse di una decina circa di masse terrestri, sono più densi di un pianeta di tipo terrestre e sono definiti pianeti ctoni; un esempio di pianeta gigante dal periodo ultracorto è il pianeta extrasolare **WASP-18 b**, che possiede

**WASP-18 b** è un pianeta extra-solare ed è noto poiché possiede un periodo di rivoluzione attorno alla sua stella molto breve, circa «24 ore», ha una massa equivalente a «10 volte» quella di Giove, appena sotto la linea di divisione tra pianeti e nane brune (circa 13 masse gioviane); si pensa che il pianeta, a cagione della decelerazione dovuta alle maree, verrà inghiottito dalla stella **WASP-18** in meno di un milione di anni.

Il pianeta si trova a circa «1,9 milioni di miglia ( $\approx 3\,057\,100$  km)» dalla stella, lontana circa «325 anni luce» dalla Terra.

### I pianeti con orbita retrograda

È stato scoperto che molti gioviani caldi possiedono orbite retrograde, e ciò pone in discussione le teorie sulla formazione dei sistemi planetari.<sup>[4]</sup> È probabile che questo fenomeno sia dovuto, più che a un disturbo dell'orbita del pianeta, al ribaltamento della stella stessa durante le prime fasi di formazione del proprio sistema, dovuto all'interazione tra il campo magnetico della stella e il disco protoplanetario. Combinando nuove osservazioni con i vecchi dati si è scoperto che più della metà dei gioviani caldi studiati ha orbite disallineate con l'asse di rotazione delle loro stelle madri, e ben sei hanno moto retrogrado.

### I pianeti puffy

I pianeti puff (Traducendo letteralmente: *pianeti paffuti*, *pianeti gonfi*) sono pianeti giganti gassosi e dal grande raggio e dalla bassa densità, e per questo chiamati anche saturniani caldi, per la somiglianza della loro densità con quella di Saturno.

Sono gioviani caldi la cui atmosfera, fortemente riscaldata e dalla stella molto vicina e dal calore interno, si espande e gonfia, fino a fuoriuscire talvolta e dal campo gravitazionale del pianeta e ad essere strappata via dal vento stellare.

Sei pianeti rappresentativi di questa categoria sono stati rilevati con il metodo del transito; in ordine di scoperta sono **HAT-P-1 b**, **CoRoT-1 b**, **TrES-4**, **WASP-12 b**, **WASP-17 b**, e **Kepler-7 b**; la gran parte di questi pianeti hanno masse inferiori alle due masse gioviane, perché pianeti più massicci avrebbero anche gravità maggiore, che contribuirebbe a contenere il raggio del pianeta entro valori simili a quelli di Giove stesso.

Comparazione fra Giove (a sinistra) e Kepler 7 (a destra)



Alcuni gioviani caldi rilevati con il metodo delle velocità radiali potrebbero essere puffy planets, ma non conoscendone i raggi non se ne ha la certezza.

Nel 2019, osservazioni col telescopio spaziale Hubble su tre pianeti scoperti nel 2012 e orbitanti attorno alla giovane stella di tipo solare **Kepler-51**, hanno rivelato delle densità ancora minori, meno di un decimo di quella dell'acqua, comprese tra « $0,034 \text{ g/cm}^3 \div 0,064 \text{ g/cm}^3$ »; per comparazione, il pianeta meno denso del sistema solare, Saturno, con una densità di « $0,69 \text{ g/cm}^3$ » è circa «20» volte più denso dei pianeti **Kepler-51**.

### I pianeti di carbonio

Con **pianeta di carbonio** o **pianeta di diamanti** o **pianeta di carburi** si indica il prototipo teorico di un tipo di pianeta terrestre.

L'astrofisico statunitense **Marc Kuchner** (1972 - ?) ha ipotizzato che in un disco protoplanetario, o ricco di carbonio o povero di ossigeno, gli elementi presenti potrebbero organizzarsi ed in carburi ed altri composti del carbonio, invece che in silicati, come è accaduto nel Sistema solare.

Nelle zone più interne di un tale sistema planetario, corrispondenti a quelle del Sistema solare interno in cui si sono formati *Mercurio* e *Venere* e *Terra* e *Marte*, si formerebbero dei pianeti con una struttura interna differenziata in un nucleo ferroso, circondato e da un mantello interno di carburi e un mantello esterno di grafite, sovrastato a sua volta da una sottile crosta e, in alcuni casi, da un'atmosfera secondaria ricca di composti del carbonio; se nel mantello esterno fossero raggiunte opportune condizioni di pressione, alcuni strati di grafite, spessi anche alcuni chilometri, potrebbero cristallizzare in diamanti.

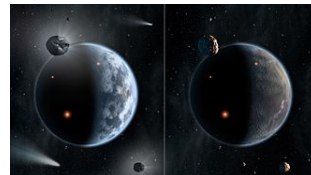
Misure del pianeta **WASP-12b**, ottenute col telescopio spaziale **Spitzer**, sono state interpretate come un rapporto, del quantitativo di carbonio rispetto all'ossigeno, superiore ad uno, anche se i dati in acquisiti non sono sufficienti a confermarla.

**WASP-12b** è un pianeta extrasolare orbitante attorno alla stella **WASP-12**, appartiene alla classe dei *pianeti gioviani caldi* ed è stato scoperto il 1° aprile 2008 dal programma di ricerca di pianeti transitanti **SuperWASP**.

Confronto fra un ipotetico pianeta simile alla Terra (a destra) ed un ipotetico pianeta di carbonio (a sinistra),

Per via della grande estensione della sua atmosfera è uno dei pianeti meno densi conosciuti, rendendolo così il più caratteristico della classe dei cosiddetti *puffy planets*.

Il pianeta impiega poco più di un giorno ad orbitare attorno alla propria stella, rendendolo così parte anche della classe dei *pianeti a periodo ultracorto*, dista dalla stella solo « $1/44$ » della distanza tra Terra e Sole (au) e possiede un'eccentricità simile a quella di Giove.



### I pianeti Ipotetici

Un **pianeta ipotetico** è o un pianeta o un corpo planetario la cui esistenza o è o è stata ritenuta possibile, ma non è stata confermata da dati empirici.

Diversi corpi planetari rientrano in questo novero; non di meno, o vi sono state nel passato o vi sono tutt'oggi credenze occasionali *pseudoscientifiche*, o teorie complottiste o gruppi religiosi volti ad accettare tali ipotesi come e scientifiche e fondate.

Si distinguono dai pianeti immaginari della fantascienza per il fatto che alcuni individui credono nella loro reale esistenza; esempi di questi pianeti ipotetici sono: **Antiterra**, **Lilith**, **Kolob**, **Pianeta X**.

In altri casi, l'esistenza di *pianeti ipotetici* è stata postulata come possibile spiegazione di fenomeni astronomici osservati nel sistema solare, al momento della loro scoperta; successivamente, il miglioramento delle conoscenze astronomiche ha condotto alla smentita della loro esistenza.

### I pianeti Immaginari

Per **pianeti immaginari** si intendono tutti i luoghi genericamente abitabili di carattere astronomico, completamente inventati o descritti immaginariamente a partire da quelli realmente esistenti che si trovano in opere letterarie, cinematografiche e d'animazione; non costituiscono quindi un *pianeta ipotetico*, perché i lettori non credono nella loro reale esistenza..

## I buchi neri

### Premessa

I buchi neri, creati generalmente dall'esplosione di una supernova, sono dei corpi celesti, ovvero una regione dello spaziotempo con una curvatura talmente grande, all'interno dei quali la forza di gravità è talmente intensa che neanche la luce può sfuggirgli essendo la velocità di fuga superiore alla velocità «c».

#### Precisazioni

«c» = velocità della luce nel vuoto, pari a: 299.792.458 m/s.

### Proprietà

Sono dei veri pozzi gravitazionali nei quali tutto ciò che gli si avvicina, che si tratti o di una stella o di un pianeta o di un veicolo spaziale, verrà prima fagocitato e poi allungato, in un processo noto come *spaghetizzazione*, ed infine compresso nella singolarità.

Nell'implosioni di masse sufficientemente elevate, la gravità determina un collasso gravitazionale che tende a concentrare lo spazio-tempo in un punto al centro della regione, dove è teorizzato uno stato della materia di curvatura tendente a infinito e volume tendente a zero, chiamato **singolarità**, e con caratteristiche sconosciute e leggi che esulano da quelle previste dalla *teoria della relatività generale*.

Il limite spaziale del buco nero è definito **orizzonte degli eventi**, regione che ne delimita in modo peculiare i confini osservabili; il suo raggio (**raggio di Schwarzschild** o **raggio gravitazionale**) è stato determinato nel 1916 dal e matematico ed astronomo ed astrofisico tedesco **Karl Schwarzschild** (1873 – 1916), che calcolò la soluzione esatta delle equazioni della relatività generale di Einstein nel caso particolare di una massa sferica e non rotante e priva di carica elettrica, pari a:

$$r_s = \frac{2 \cdot G}{c^2} \cdot M$$

In cui:  $r_s$  = raggio di Schwarzschild - G = costante di gravitazione universale, - M = massa del corpo - c = velocità della luce nel vuoto.

Il raggio di Schwarzschild è proporzionale alla massa del corpo:

Oggetto	Raggio di Schwarzschild m	Densità corrispondente g/cm <sup>3</sup>
Via lattea	$2,08 \cdot 10^{15}$ (~0,2 al)	$3,72 \cdot 10^{-8}$
Sole	$2,95 \cdot 10^3$	$1,84 \cdot 10^{16}$
Terra	$8,87 \cdot 10^{-3}$	$2,04 \cdot 10^{27}$

In cui: al = anno luce, pari a: 9 460 730 472 580,8 km

### Proprietà fisiche dei buchi neri

Classe	Massa	Raggio
Buco nero supermassiccio	$\sim 10^6 M_{\text{Sole}} \div \sim 10^9 M_{\text{Sole}}$	$\sim 0,001 \text{ au} \div \sim 400 \text{ au}$
Buco nero di massa intermedia	$\sim 10^3 M_{\text{Sole}}$	$\sim 10^3 \text{ km} \approx R_{\text{Plutone}}$
Buco nero stellare	$\sim 3 M_{\text{Sole}} \div \sim 30 M_{\text{Sole}}$	$\sim 30 \text{ km}$
Micro buco nero	Fino a $\sim 1 M_{\text{Luna}}$	Fino a $\sim 0,1 \text{ mm}$

#### Osservazioni

I buchi neri sono comunemente classificati in base alla loro massa, indipendente e dal momento angolare «J» e dalla carica elettrica «Q»; la dimensione di un buco nero, come determinata dal raggio dell'orizzonte degli eventi, o raggio di Schwarzschild, è approssimativamente proporzionale alla sua massa «M» tramite l'equazione:

$$r_{\text{sh}} = \left( \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2} \right) \approx 2,95 \cdot \frac{M}{M_{\text{Sole}}} \text{ km}$$

In cui:  $r_{\text{sh}}$  = raggio di Schwarzschild - G = costante gravitazionale universale - M = massa del buco nero -  $M_{\text{Sole}}$  = Massa del Sole.

Questa relazione è esatta solo per i buchi neri con carica e momento angolare nulli, mentre per i buchi neri più generali può variare fino a un fattore di «2».

### Un buco nero extra galattico

Alla fine del 2021, si è riusciti ad individuare, per la prima volta, un buco nero fuori dalla nostra galassia, la Via Lattea, usando un nuovo metodo, ovvero cercando una stella in un'orbita binaria che però, apparentemente, orbita attorno a nulla.

È stato chiamato **NGC 1850 BH1** ed è relativamente piccolo, undici volte la massa del Sole e relativamente recente, ha solo cento milioni di anni; lo hanno trovato nella **Grande Nube di Magellano**, una galassia nana in orbita attorno alla Via Lattea a circa «160 mila anni luce» Dalla Terra.

La scoperta è stata possibile grazie all'utilizzo del **Very Large Telescope** dell'**Osservatorio europeo meridionale**, in cima a una montagna desertica nel nord del Cile.

## Rotazione fra due corpi

**Corpo di massa trascurabile  
che ruota attorno  
ad un altro corpo di massa notevole**

$$m_1 \ll m_2$$

In cui:  $m_1$  = massa trascurabile del corpo orbitante –  $m_2$  = massa notevole del corpo centrale.

Costante gravitazionale planetaria:  $\mu = G \cdot M$

In cui:  $G$  = costante gravitazionale universale –  $M$  = massa del corpo centrale.

### Orbite circolari

Nelle orbite circolari, in cui un corpo di massa « $m_1$ » orbita attorno ad un corpo centrale di massa « $m_2$ », vale la:

$$\mu = r \cdot v^2 = r^2 \cdot \omega^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^3}{T^2}$$

In cui:  $\mu$  = costante gravitazionale planetaria –  $r$  = raggio dell'orbita circolare –  $v$  = velocità orbitale –  $\omega$  = velocità angolare –  $T$  = periodo orbitale.

**La Costante gravitazionale planetaria è quella del corpo centrale**

### Orbite ellittiche

Le orbite ellittiche possono essere generalizzate con la:

$$\mu = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot a^3}{T^2}$$

In cui:  $a$  = semiasse maggiore dell'ellisse.

### Traiettorie paraboliche

$$\mu = \frac{r \cdot v^2}{2} \text{ (costante)}$$

### Traiettorie iperboliche

Nelle orbite ed *ellittiche* ed *iperboliche* « $\mu$ » vale due volte il semiasse maggiore « $a$ » moltiplicato il valore assoluto dell'*energia orbitale specifica* « $\epsilon$ ».

$$\mu = 2 \cdot a \cdot |\epsilon|$$

#### Osservazioni

L'*energia orbitale specifica*, o in meccanica celeste o in astrodinamica, è una delle costanti di moto di un corpo orbitante che rispetta le usuali ipotesi di problema dei due corpi puntiformi (corpo orbitante e attrattore) che seguono la legge di gravitazione universale.

Considerando, quindi, il moto o di un satellite o di una sonda attorno ad un attrattore, in assenza di perturbazioni orbitali, l'*energia totale specifica* « $\epsilon$ » si conserva; questa quantità è uno scalare e si misura in  $\text{J/kg} = \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ .

$$\epsilon = \epsilon_k + \epsilon_p = \frac{v^2}{2} - \frac{\mu}{r} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\mu^2}{h^2} \cdot (1 - e^2) = -\frac{\mu}{2 \cdot a}$$

In cui:  $v$  = velocità orbitale relativa –  $\mu$  = somma dei parametri gravitazionali standard dei due corpi « $G \cdot (m_1 + m_2)$ » –  $r$  = distanza orbitale fra i due corpi –  $h$  = momento angolare relativo specifico

**Due corpi, con masse dello stesso ordine di grandezza,  
che ruotano l'uno attorno all'altro**

$$m_1 \cong m_2$$

Costante gravitazionale planetaria:  $\mu = G \cdot (M_1 + M_2)$

In cui:  $G$  = costante gravitazionale universale –  $M_1$  = massa di uno dei due corpi –  $M_2$  = massa dell'altro corpo.

**Per le orbite circolari:**  $\mu = r \cdot v^2 = r^2 \cdot \omega^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^3}{T^2}$

**Per le orbite ellittiche:**  $\mu = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot a^3}{T^2}$

**Per le traiettorie paraboliche:**  $\mu = \frac{r \cdot v^2}{2}$

In cui (nelle tre formule precedenti):  $\mu$  = costante gravitazionale planetaria –  $r$  = raggio dell'orbita circolare –  $v$  = velocità orbitale –  $\omega$  = velocità angolare –  $T$  = periodo orbitale –  $a$  = semiasse maggiore dell'ellisse.

Nelle orbite ed *ellittiche* ed *iperboliche* « $\mu$ » vale due volte il semiasse maggiore « $a$ » moltiplicato il valore assoluto dell'*energia orbitale specifica* « $\epsilon$ ».

$$\mu = 2 \bullet a \bullet |\epsilon|$$

#### **Precisazioni**

La *Costante gravitazionale planetaria terrestre* è chiamata anche *Costante gravitazionale geocentrica* e vale: « $398\,600,441\,8 \pm 0,000\,8 \text{ km}^3 \bullet \text{s}^{-2}$ ».

Il margine di precisione è, pertanto, di  $1/500\,000$ ; molto maggiore di quello che si ha nel calcolo e della « $G$ » e della « $M$ » calcolate separatamente, che vale  $1/7\,000$  ciascuna.

La *Costante gravitazionale planetaria del Sole* è chiamata anche *Costante gravitazionale eliocentrica*.

## *I moti della terra*

### **Moti principali**

**Rotazione** diurna, intorno al proprio asse polare, compiuta in un giorno sidereo con un periodo pari a 86 164,091 secondi.

**Rivoluzione** intorno al sole compiuta in un anno siderale pari a  $365^g 06^h 09^m 09,504^s$ .

**Precessione degli equinozi** che consiste in un moto conico dell'asse polare terrestre, intorno ad una posizione media, con un periodo di circa 26 000 anni.

**Nutazione** che consiste in oscillazioni, di vario periodo, dell'asse polare terrestre, intorno alle successive generatrici del **cono di precessione**.

**Spostamento della linea degli apsidi** che consiste in un moto dell'asse maggiore dell'orbita della terra, nel suo piano con un periodo di circa 108 000 anni.

**Migrazione dei poli** che consiste in piccoli spostamenti ( $15\text{ m} \div 20\text{ m}$ ), che danno luogo ad un moto spiraliforme dei poli detto **polodia**, dell'asse polare sulla superficie terrestre.

**Variazione secolare dell'obliquità dell'asse polare terrestre** con una variazione di circa  $0,48''$  d'arco ogni anno.

**Moto del sistema terra-luna** intorno al proprio baricentro con un periodo di circa un mese.

**Variazione secolare dell'eccentricità dell'orbita** che tende alla forma circolare diminuendo di circa  $4,3 \cdot 10^{-5}$  all'anno.

**Moto intorno al baricentro del sistema solare** con periodo di circa un anno.

**Perturbazioni planetarie** dovute all'attrazione degli altri pianeti del sistema solare.

**Spostamento della posizione del baricentro del sistema solare** rispetto alla galassia (la Via lattea), dovuta a varie cause perturbatrici.

**Traslazione del sistema solare**, all'interno della *Via lattea*, verso la **Lyra**, con una velocità di circa  $20\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Traslazione della galassia**, verso il **Capricorno** con una velocità di circa  $600\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Rotazione della galassia** attorno al proprio baricentro con un periodo di circa 225 000 000 anni.

. . . e non sono tutti!

Sono inoltre da considerare, ai fini idrodinamici, le maree, sia marine sia della crosta terrestre, dovute all'attrazione *luni-solare*.  
Anche l'atmosfera è soggetta a moti mareali.

## Gli esopianeti

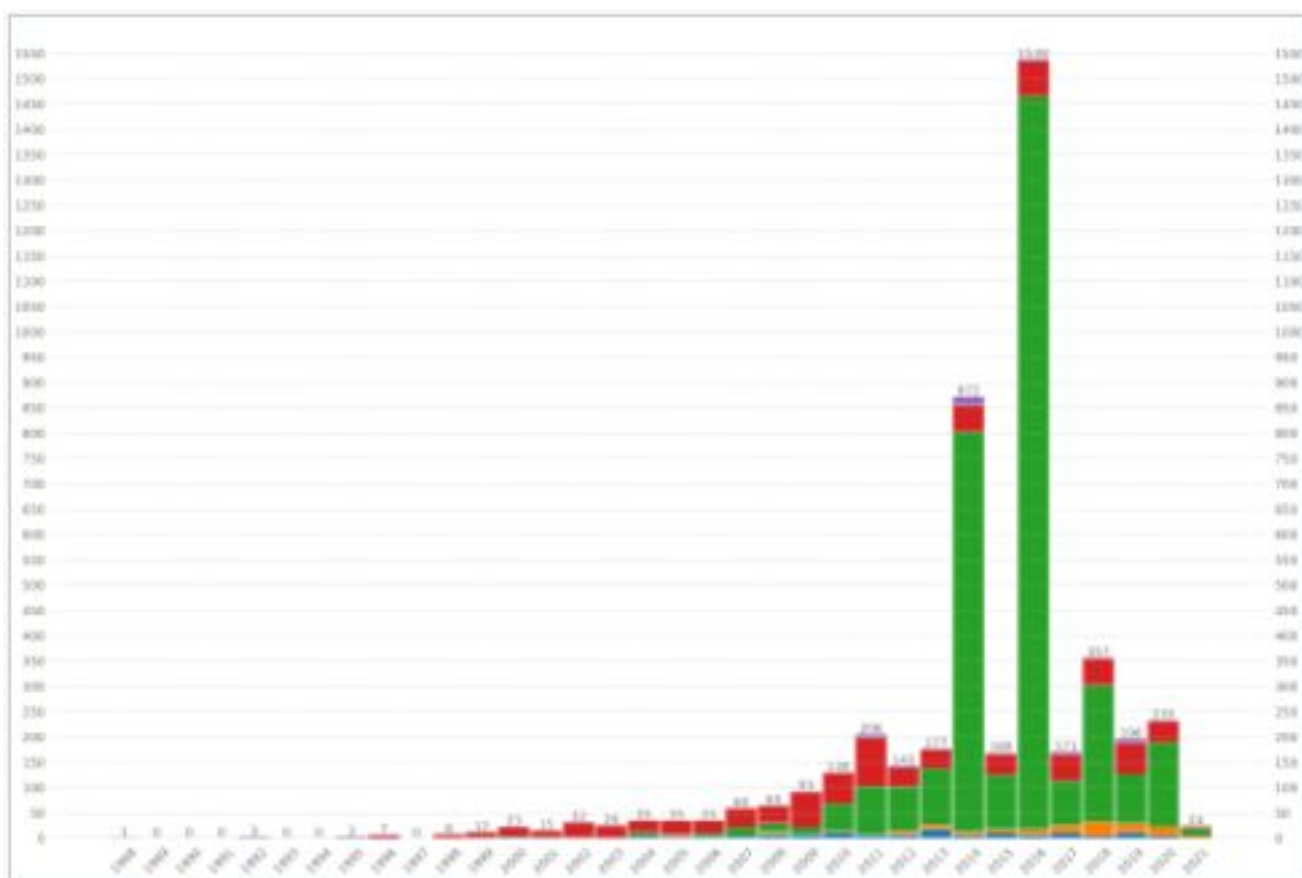
Un **pianeta extrasolare** (o **esopianeta**, o **exopianeta**) è un pianeta non appartenente al sistema solare, orbitante cioè attorno a una stella diversa dal Sole; la prima ipotesi dell'esistenza di questi corpi celesti fu avanzata dal filosofo italiano **Giordano Bruno** (1548 – 1600), successivamente la stessa ipotesi fu ripresa dal fisico inglese **Isaac Newton** (1642 – 1727).

I primi pianeti extrasolari, orbitanti intorno alla pulsar **PSR B1257+12**, sono stati individuati dagli astronomi e **Aleksander Wolszczan** (1946) e **Dale Andrew Frail** nel 1992, utilizzando il **radiotelescopio di Arecibo** di «304,8 m».

Le orbite dei due pianeti sono rispettivamente di «0,36 au» e di «0,47 au» dalla stella ed hanno rispettivamente una massa di «3,9  $M_{\oplus}$ » e «4,3  $M_{\oplus}$ » (masse terrestri) e si muovono in orbite quasi circolari con un'inclinazione di «127°» e «133°» e con periodo rispettivamente di «66,6 g» e «98,2 g» (g = giorni).

Nel settembre del 1995 è stato scoperto, dagli astronomi e **Michel Mayor** (1942) e **Didier Queloz** (1966), utilizzando l'**Observatoire de Haute-Provence** (OHP, **Haute-Provence Observatory** in inglese), il primo **pianeta extrasolare**, grande circa quanto Giove, in orbita attorno ad una stella di tipo simile al Sole: **51 Pegasi**, a circa cinquanta anni luce da noi.

Il **51 Pegasi b**, nome ufficiale di questo **esopianeta**, è stato soprannominato **Bellerofonte** dal nome dell'eroe greco che domò il cavallo alato **Pegaso**, la costellazione in cui si trova.



Numero di scoperte di pianeti extrasolari per anno (al 23 febbraio 2021). I colori indicano il metodo di individuazione:

- Velocità radiali
- Transito
- Pulsar timing
- Direct imaging
- Microlensing

Al 7 dicembre 2023, risultano conosciuti «5 552» pianeti extrasolari (esopianeti) in «4 091» sistemi planetari diversi, di cui «887» sistemi multipli; inoltre, vi sono «2 756» pianeti candidati, mentre altri «101» possibili pianeti sono o controversi o in attesa di conferma.



## Metodi di individuazione

- a) metodo delle **velocità radiali**: è stato il metodo più utilizzato nella prima fase delle ricerche e sfrutta il fenomeno dello spostamento verso il rosso, o verso il blu (chiamato anche o *effetto batocromo* o *redshift*, in inglese); è conosciuto anche col nome di **metodo Doppler**.

Analizzando la frequenza della luce, attraverso gli spettri, si può calcolare la velocità radiale di una stella rispetto all'osservatore che si trova sulla Terra; se l'andamento della velocità radiale risulta periodico, se ne può dedurre che attorno a quella stella orbita un esopianeta.

### Precisazioni

Lo **spostamento verso il rosso**, o verso il blu, è il fenomeno per cui la luce, o un'altra radiazione elettromagnetica, emessa da un oggetto, od in allontanamento od in avvicinamento, ha una lunghezza d'onda rispettivamente o maggiore o minore paragonata a quella che aveva all'emissione.

- b) metodo del **transito**: è un metodo fotometrico e più recente e più promettente, di quello delle **velocità radiali**, che consiste nella rilevazione della diminuzione di luminosità della curva dell'intensità della luce proveniente da una stella, quando un esopianeta transita tra la sua stella e l'osservatore che si trova sulla Terra; se la diminuzione è periodica se ne può dedurre che attorno a quella stella orbita un esopianeta.

### Curiosità

Nel caso di «**HD 209458**», la diminuzione di luce è dell'ordine dell'1,7%.

- c) **variazione del metodo del transito**: in sistemi dove è già stato scoperto un pianeta in transito, è possibile scoprire ulteriori pianeti con quello transitante osservando eventuali variazioni del periodo orbitale del pianeta già noto a causa dell'attrazione gravitazionale di un altro pianeta non transitante; questo sistema può consentire anche di stimare le masse di pianeti in risonanza orbitale tra loro,
- d) metodo del **pulsar timing**: (abbreviato in «**TTV**», dall'inglese *Transit-timing variation*) è un metodo estremamente e sensibile e preciso per rilevare pianeti extrasolari con masse potenzialmente piccole come quella della Terra, osservando le variazioni dei tempi del transito; se questo periodo risulta alterato, allora è ipotizzabile che attorno a quella stella orbiti un esopianeta.
- e) metodo delle **variazioni degli intervalli di emissioni di una Pulsar**: una pulsar (il residuo e piccolo e ultradenso di una stella che è esplosa in una supernova), ruotando, emette onde radio a intervalli estremamente regolari; leggere anomalie negli intervalli delle emissioni possono essere usate per tracciare cambiamenti nel moto della pulsar, causati dalla presenza o di uno o più pianeti.
- f) metodo **astrometrico**: consiste e nella misurazione precisa della posizione di una stella nel cielo e nell'osservare in che modo questa posizione cambia nell'arco del tempo; è simile al metodo delle **velocità radiali**; in questo caso però non si considerano le velocità, ma lo spostamento della stella rispetto ad altre stelle fisse.
- g) metodo della **microlente gravitazionale** o **microlensing**: quando una stella passa davanti ad un'altra stella molto lontana fa effetto *lente*, amplificando la luce della stella più lontana; se un pianeta orbita attorno alla stella che amplifica si verifica un picco luminoso secondario.

Possiamo considerare inoltre.

- l) **dischi e circumstellari e protoplanetari**: le nubi di polveri circondano molte stelle, ed esse possono essere individuate poiché in grado di assorbire la luce stellare e rimetterla sotto forma di radiazione infrarossa. Analizzando attentamente le nubi di polveri, è possibile individuare elementi che suggeriscono la presenza di pianeti e/o protopianeti.

Spesso la ricerca di *esopianeti* coincide con la ricerca di mondi in grado di ospitare una forma di vita extraterrestre; ad oggi, **Kepler-22 b**, ruotante attorno alla nana gialla: **Kepler-22**, distante circa 600 anni luce dal Sistema Solare, sembra essere il miglior esempio di esopianeta di tipo terrestre (classificato tra le Super Terre).

Orbitante nella zona abitabile del proprio sistema, esso avrebbe infatti una temperatura superficiale media di circa «22 °C», il che consente la presenza di acqua allo stato liquido, presupposto per la presenza di vita.

Gli esopianeti conosciuti appartengono a sistemi planetari che orbitano attorno a una stella; esistono, tuttavia, numerose osservazioni, non confermate, di oggetti di massa planetaria non legati a vincoli gravitazionali con alcuna stella (cosiddetti *pianeti interstellari*); tali corpi celesti non sono definibili come *pianeti* secondo l'attuale definizione dell'**Unione Astronomica Internazionale (U.A.I.)**.

Non c'è ancora modo, purtroppo, di dire con certezza se si tratti di pianeti che sono stati espulsi dall'orbita intorno alla loro stella o si sono originariamente formati da soli, come o sub-nana bruna o nana bruna.

### **I pianeti ctoni**

I ***pianeti ctoni***, chiamati così dall'aggettivo di origine greca *ctonio*, letteralmente *sotterraneo*, potrebbero essere dei pianeti extrasolari di origine gassosa, che solitamente si originano lontani dalla propria Stella, lentamente attirati verso il centro del sistema a causa dell'attrazione gravitazionale.

A tal cagione, tutta l'atmosfera, composta da gas leggeri come ed idrogeno ed elio, viene dispersa lasciando ed intatto e scoperto il solo nocciolo roccioso centrale che resta assoggettato alla intensa temperature della Stella e diviene un palla infuocata con una superficie composta da magma ribollente.

Non sono ancora stati osservati *pianeti ctoni* ma vi è un'altra probabilità che siano diffusi in molti sistemi solari.

## *Pianeti extrasolari notevoli*

I **pianeti extrasolari notevoli** sono pianeti esterni al Sistema Solare che si distinguono per vari motivi dai «5 460» esopianeti confermati al 16 luglio 2023.

Un esopianeta può venire considerato *notevole* per vari motivi: quando è il primo esemplare confermato di una certa categoria, quando possiede caratteristiche e fisiche ed astronomiche che lo rendono estremo rispetto agli altri conosciuti, in funzione anche delle caratteristiche della stella principale.

### Alcuni pianeti extrasolari notevoli

Anno	Pianeta	Record	Descrizione
1989	HD 114762 b	Primo pianeta individuato	Individuato tramite il metodo delle velocità radiali, è stato tuttavia confermato solo nel 1996, perdendo così il primato. Tuttavia le stime della massa erano errate, si pensava fosse un gioviano di circa «11 $M_J$ » in orbita attorno ad una vecchia stella più calda ma meno massiccia del Sole, prossima all'entrata nella fase di sub-gigante, tuttavia osservazioni del 2020 hanno concluso che era anch'essa una piccola nana rossa con una massa molto più alta del previsto «147 $M_J$ ».
1992	PSR B1257+12	Primo pianeta confermato Primo sistema multiplo Primo pianeta attorno a una Pulsar Primo sistema multiplo attorno ad una Pulsar Primo pianeta individuato tramite Pulsar timing Primo pianeta superterrestre	I primi esopianeti ad essere confermati al di là di ogni ragionevole dubbio <sup>[3]</sup> , e primo sistema multiplo planetario scoperto diverso dal sistema del Sole. Il sistema orbita attorno a una pulsar, ed è quindi anche il primo rappresentante della categoria dei Pianeti delle pulsar. Sempre per via della natura della stella sono stati anche i primi pianeti individuati tramite il metodo della variazione delle pulsazioni di una Pulsar (Pulsar timing). La loro massa (circa 4 $M_\oplus$ ) inoltre li colloca entrambi nella categoria delle super Terre.

## Le esolune

Il termine **esoluna** o **satellite extrasolare** o **luna extrasolare**, indica un oggetto celeste, estraneo al sistema solare, vincolato ad orbitare nel sistema gravitazionale di un **esopianeta**; si tratta, pertanto, di un satellite naturale orbitante intorno a un pianeta di un sistema diverso da quello solare.

Grazie a osservazioni del telescopio Hubble gli astronomi hanno ottenuto ulteriori conferme della presenza di una luna attorno all'esopianeta **Kepler-1625b**; l'esoluna avrebbe una dimensione simile a quella di **Nettuno** e ruoterebbe attorno ad un pianeta *tre* volte più massiccio di **Giove**.

Potrebbe rivelarsi il primo satellite scoperto al di fuori del Sistema Solare; risultati dello studio sono pubblicati su **Science Advances**.

Le **esolune**, se sfuggono all'attrazione gravitazionale dell'**esopianeta**, attorno a cui ruotano, si chiamano **ploonets**.

### Curiosità

La **Luna** della Terra si sta allontanando lentamente dal nostro pianeta (38 mm all'anno); si potrebbe affermare, pertanto, che il nostro unico satellite naturale, fra circa *cinque miliardi* d'anni, potrebbe diventare un **ploonets**.

Farebbe, per contro, appena in tempo prima di essere completamente cotta dal Sole mentre la nostra stella si espande in una **gigante rossa**, raggiungendo un diametro approssimativamente uguale alle dimensioni dell'orbita terrestre.

## I pianeti interstellari

Un **pianeta interstellare** è un corpo celeste avente una massa equivalente a quella di un pianeta, ma non legato per gravità a nessuna stella; questi corpi celesti si muovono, pertanto, nello spazio interstellare come oggetti indipendenti da qualsiasi sistema planetario, il che giustifica l'appellativo di **pianeta orfano** attribuito a volte, in maniera alternativa, a questo tipo di oggetti.

Sebbene siano state annunciate diverse scoperte di questi oggetti, nessuna di esse è stata finora confermata; la comunità scientifica, inoltre, dibatte sull'opportunità di considerarli o meno pianeti.

Alcuni astronomi hanno suggerito infatti di chiamarli sub-nane brune; la differenza principale tra i due oggetti starebbe nel processo che ha condotto alla loro formazione: una **sub-nana bruna** si forma dalla contrazione di una nube di gas e polveri, in maniera simile a quanto avviene per una stella o una nana bruna, un pianeta, per contro, dall'accrescimento di gas e polveri intorno a un embrione planetario orbitante all'interno di un disco circumstellare.

### Pianeti interstellari o conosciuti o possibili candidati

Non c'è modo di dire con certezza se si tratti di pianeti che sono stati espulsi dall'orbita intorno alla loro stella o si erano originariamente formati da soli o come sub-nana bruna o come nana bruna.

S Ori 52

UGPS J072227.51-054031.2

Cha 110913-773444

WISE 0855-0714

CFBDSIR 2149-0403

PSO J318.5-22

Rappresentazione artistica di un pianeta interstellare di massa simile a quella di Giove.



## Le lenti gravitazionali

### Premessa

In astronomia, una **lente gravitazionale** (o *lensing gravitazionale*) è una distribuzione di materia, come ad esempio una nana bianca od una galassia od un buco nero, in grado di curvare la traiettoria della luce in transito analogamente a quanto avviene in una lente ottica.

Le **lenti gravitazionali** sono previste dalla teoria della relatività generale, secondo la quale la traiettoria della radiazione elettromagnetica, come la luce, è determinata dalla curvatura dello spazio-tempo prodotta dalle masse dei corpi celesti.

Le prime evidenze sperimentali di tale effetto furono raccolte per la prima volta, il 29 maggio 1919 dall'astrofisico inglese Sir **Arthur Stanley Eddington** (1882 – 1944) osservando, durante un'eclissi totale, la deflessione dei raggi luminosi delle stelle fisse prodotta dalla massa del Sole; da allora un grande numero di lenti gravitazionali è stato scoperto grazie agli sviluppi tecnologici della strumentazione astronomica.

### Effetti

L'effetto di una **lente gravitazionale** si manifesta quando la radiazione (la luce) emessa da un corpo celeste passa nei pressi di una massa, posta tra la sorgente e l'osservatore, producendo la deformazione dello spazio-tempo e, conseguentemente, la deviazione dei raggi luminosi provocando distorsioni o più o meno nette dell'immagine della sorgente, per effetto della lente gravitazionale, facendo apparire la sorgente spostata rispetto alla sua posizione reale, come nell'**anello di Einstein**.

Le lenti gravitazionali possono agire anche su scala galattica o su ammassi di galassie e sono stati rilevati anche effetti di lente gravitazionale attribuibili alla materia oscura presente nell'universo; oltre alla distorsione dell'immagine, possono generare più immagini della stessa sorgente come avviene nella nota **Croce di Einstein**.

Le **microlenti gravitazionali** (*microlensing*) sono un fenomeno astronomico che si origina da sorgenti di lenti gravitazionali che hanno masse minori di quelle delle galassie e delle stelle fisse, come ad esempio i pianeti gassosi; essi producono solo una variazione della luminosità apparente di un corpo celeste nello sfondo, ma permettono di rilevare la presenza di corpi celesti anche di piccole dimensioni che non emettono né luce né altra radiazione elettromagnetica.

### Curiosità

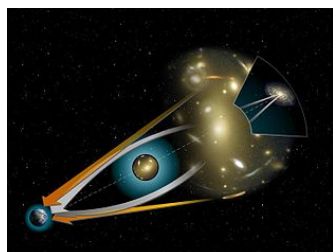
Nel 1804, l'astronomo bavarese **Johann Georg von Soldner** (1776 – 1833), basandosi sulla teoria corpuscolare di Newton, che considerava la luce composta da masse puntiformi sensibili alla gravità, formulò una curiosa predizione: «*Se [...] un raggio luminoso passa accanto a un corpo celeste, invece di continuare in linea retta, l'attrazione di quest'ultimo lo costringerà a descrivere un'iperbole la cui concavità si dirige verso il corpo che lo attrae*».

Von Soldner calcolò, nel caso del Sole, un angolo di deviazione dei raggi luminosi di circa «0,84"» d'arco, ma la sua congettura, impossibile da verificare con i mezzi dell'epoca, fu presto dimenticata.

Nel giugno del 1911 Einstein, senza conoscere l'opera di von Soldner, presentò la stessa idea nel suo articolo *L'influenza del campo gravitazionale sulla propagazione della luce*, nel quale raggiunse un valore praticamente identico: «0,83"» d'arco.

Nella sua famosa conferenza del 25 novembre 1915, Einstein aveva dedotto, a partire dall'equazione di campo corretta, una seconda stima che si allontanava nettamente da quella di von Soldner, pari a «1,7"» d'arco.

La disparità forniva ora un'eccellente base per confrontare la visione relativistica della relatività con quella classica newtoniana.



## Le onde gravitazionali

### Premessa

Le **onde gravitazionali** sono perturbazioni del tessuto spaziotempo che si propagano alla velocità della luce con carattere ondulatorio.

**Albert Einstein** (1879 – 195) fu un fisico e scienziato tedesco (naturalizzato svizzero e divenuto successivamente cittadino statunitense); predisse, nel «1916», l'esistenza delle onde gravitazionali basandosi sulle sue equazioni della teoria della **Relatività generale** da lui formulata nel «1915»..

Con il linguaggio di Einstein, possiamo affermare: *se una massa si muove di moto accelerato, genera oscillazioni del campo gravitazionale (onde gravitazionali) che si propagano alla velocità della luce.*

### La scoperta delle onde gravitazionali

Le onde gravitazionali sono state rivelate il «14 settembre 2015», alle 10:50:45 ora italiana (09:50:45 UTC, 05:50:45 am EDT), da entrambi gli strumenti gemelli *Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory* (LIGO), negli Stati Uniti, a Livingston, in Louisiana, e a Hanford, nello stato di Washington.

#### Curiosità

L'**Eastern Daylight Time**, noto con la sigla **EDT**, ossia l'ora legale orientale USA, è il fuso orario adottato in ora legale dagli Stati che in inverno usano l'Eastern Standard Time dalla prima domenica di novembre alla seconda di marzo.

È di «4 ore» dietro il «UTC» (Tempo Universale Coordinato).

Gli osservatori **LIGO**, finanziati dalla **National Science Foundation (NSF)** e operati da Caltech e MIT, hanno registrato l'arrivo delle onde gravitazionali entro una finestra temporale di coincidenza di 10 millisecondi.

L'importante risultato, pubblicato sulla rivista scientifica *Physical Review Letters*, è stato ottenuto, grazie ai dati dei due rivelatori **LIGO**, dalle **Collaborazioni Scientifiche LIGO** (che include la Collaborazione GEO600 e l'Australian Consortium for Interferometric Gravitational Astronomy) e **VIRGO**, che fa capo allo **European Gravitational Observatory (EGO)**, fondato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (**INFN**) italiano e dal **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)** francese.

La scoperta è stata annunciata dalle collaborazioni e **LIGO** e **VIRGO** nel corso di due conferenze simultanee, tenutesi e negli Stati Uniti a Washington, e in Italia a Cascina (Pisa), nella sede di **EGO**, il laboratorio nel quale si trova l'interferometro **VIRGO**; il progetto è stato ideato e realizzato e condotto e dall'**INFN** e dal **CNRS** con il contributo di **Nikhef** (Paesi Bassi), e in collaborazione con e **POLGRAW - Polska Akademia Nauk** (Polonia) e **Wigner Institute** (Ungheria).

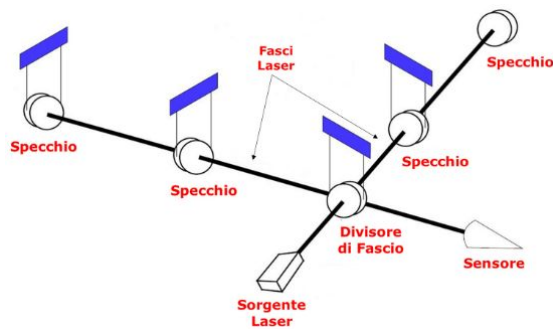
Le onde gravitazionali rilevate sono state prodotte nell'ultima frazione di secondo del processo di fusione di due buchi neri, di massa equivalente a circa «29 masse solari» e «36 masse solari», concentrate in due sfere di diametro inferiore ai «200 km», in un unico buco nero di circa «62 masse solari»; le «3 masse solari», mancanti al totale della somma (29 + 36 = 65), equivalgono all'energia emessa, «1,3 miliardi» di anni fa, durante il processo di fusione dei due buchi neri, sotto forma di onde gravitazionali (energia di radiazione gravitazionale).

Prima di fondersi, i due buchi neri hanno spiraleggiato per scontrarsi, infine, ad una velocità di circa «150 000 km/s» (la metà della velocità della luce).

### Strumentazione utilizzata

Le masse test sono costituite da specchi sospesi nel vuoto a sofisticatissimi sistemi di attenuazione dei rumori, in grado di isolarli dalle sollecitazioni esterne e realizzare meglio possibile la condizione di caduta libera lungo le due direzioni ortogonali. In **VIRGO** gli specchi, posti alle estremità dei due bracci dell'interferometro, distano «3 km», nei due **LIGO**, i due specchi distano «4 km».

Come si può osservare nella animazione seguente, un fascio laser viene diviso in due da un *beam-splitter* (divisore di fascio); i due fasci ottenuti sono inviati sugli specchi lungo i due bracci ortogonali. Riflessi molteplici volte lungo i cammini tra gli specchi sospesi, si ricombinano in uscita in un unico fascio, rivelato da un sensore. Le variazioni di distanza tra gli specchi provocano uno sfasamento tra i due fasci che interferiscono ed è questo sfasamento ad essere misurato attraverso il sensore. Dallo sfasamento si risale alla variazione di distanza.



## La formula di Drake

### Premessa

L'astronomo e astrofisico statunitense **Frank Donald Drake** (Chicago, 28 maggio 1930) fu un pioniere nel tentativo di comunicare con esseri extraterrestri; impresa che sarebbe divenuta nota col suo acronimo «**CETI**» (**C**ommunication for **E**xtra-**T**errestrial **I**ntelligence) [Comunicazione per l'intelligenze extraterrestri], modificato in seguito in «**SETI**» (**S**earch for **E**xtra-**T**errestrial **I**ntelligence) [Ricerca di intelligenze extraterrestri].

Benché la ricerca di **Drake**, chiamata **Progetto Ozma** (dal nome della principessa del fantastico paese di **Oz**, protagonista di un libro di racconti per bambini) non avesse prodotto i frutti sperati, aveva, per contro, convinto, unitamente all'articolo pubblicato da **Cocconi e Morrison** su **Nature**, dell'opportunità di organizzare un convegno sull'argomento.

Il convegno si tenne a **Green Bank** alla fine del 1961 e **Drake**, incaricato di stilare il programma scientifico, decise di strutturarne come un'investigazione sul numero probabile di civiltà radio-emittenti esistenti nella nostra Galassia.

### La formula

La stima del numero delle radio sorgenti «*N*» avrebbe influenzato, infatti, il modo di osservazione migliore; se il valore di «*N*» fosse stato grande, sarebbe stato più opportuno osservare singole stelle vicine, se il valore di «*N*» fosse stato piccolo, sarebbe stato meglio compiere osservazione sull'intero cielo.

A tal uopo **Drake** propose la sua celebre formula:

$$N = R^* \cdot f_p \cdot n_t \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_c \cdot V$$

#### In cui:

*N* = numero di civiltà presenti, oggi, nella Via Lattea

*R*<sup>\*</sup> = il tasso medio annuo in cui si formano nuove stelle nella Via Lattea

*f*<sub>p</sub> = frazione di stelle che possiedono un sistema planetario (pianeti)

*n*<sub>t</sub> = il numero medio di pianeti, in ciascun sistema, con condizioni adatte allo sviluppo della vita (abitabili)

*f*<sub>v</sub> = la frazione dei pianeti adatti, in cui la vita si è sviluppata realmente e si è evoluta in forme molto complesse

*f*<sub>i</sub> = la frazione di questi pianeti in cui si sviluppano forme di vita intelligente

*f*<sub>c</sub> = la frazione, di quest'ultimi, in cui le forme di vita intelligenti sviluppano interesse per le comunicazioni interstellari

*V* = la durata media di una civiltà tecnologicamente avanzata

**Drake** assunse i seguenti valori:

$$R^* = 20 \text{ (all'anno)}, \quad f_p = 0,3, \quad n_t = 1, \quad f_v = 1, \quad f_i = 1, \quad f_c = 0,01 \quad V = 10\,000 \text{ (anni)}$$

Da cui ottenne:

$$N = 20 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,01 \cdot 10\,000 = 600$$

(stima del numero delle civiltà extraterrestri presenti nella **Via Lattea**)

Le stime, considerate oggi più attendibili, dei parametri che compongono l'**equazione di Drake**, forniscono i seguenti valori:

$$R^* = 7 \text{ (all'anno)}, \quad f_p = 0,5, \quad n_t = 2, \quad f_v = 0,33, \quad f_i = 0,01, \quad f_c = 0,1 \quad V = 10\,000 \text{ (anni)}$$

Da cui si ottiene:

$$N = 7 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 0,33 \cdot 0,01 \cdot 0,1 \cdot 10\,000 = 23,1$$

(stima del numero delle civiltà extraterrestri presenti nella **Via Lattea**)

**F. D. Drake** è un membro dell'**Accademia Nazionale per le Scienze** ed è **professore emerito di astronomia e astrofisica all'Università della California**; attualmente è impegnato nel **Progetto Phoenix**, legato alla **SETI**.



## *Alcuni sistemi solari prima di Copernico*

Teniamo presente che prima degli anni venti del **XX** secolo la Galassia era considerata l'intero universo.

### **Anassimandro**

Per il filosofo presocratico **Anassimandro**, in greco antico: Ἀναξίμανδρος, *Ana-xímandros* (610 a.C. – 546 a.C.) è stato il primo cartografo.

**Anassimandro** fissa sia la struttura sia le dimensioni e del **Sole** e della **Luna**: «*Le stelle sono porzioni d'aria compressa a forma di ruota, girevoli, piene di fuoco che emettono fiamme da piccole aperture ... Il Sole è un disco 28 volte più grande della Terra, esso è come la ruota di un cocchio il cui cerchio cavo è pieno di fuoco che si sprigiona da un'apertura a forma di soffietto ... Le eclissi solari avvengono quando si chiude l'orifizio per cui il fuoco trova sfogo ... La Luna è un disco 19 volte più grande della Terra ed è come la ruota di un cocchio il cui cerchio sia vuoto e pieno di fuoco, similmente al disco del Sole ... le sue eclissi dipendono delle rotazioni della ruota*».

Stabilisce in'oltre che la Terra ha la forma di: «*Un cilindro la cui altezza è un terzo della sua lunghezza*».

### **Aristotele**

Lo è scienziato e filosofo e logico **Aristotele**, in greco antico: Ἀριστοτέλης, *Aristotélēs* (384 a.C. – 322 a.C.) era convinto dell'*unicità* e della *finitezza* dell'universo.

**Aristotele** riteneva che i corpi celesti si muovessero su sfere concentriche; oltre la **Terra** per lui vi erano, in ordine: la **Luna**, **Mercurio**, **Venere**, il **Sole**, **Marte**, **Giove**, **Saturno**, e, infine, il cielo delle **stelle fisse**, così chiamate perché, come incastonate nel cielo, sembravano immobili nelle loro posizioni relative sulla sfera celeste.

- ✓ la zona cosmica imperfetta era quella del cosiddetto *mondo sublunare*, formato dai quattro elementi: **terra**, **acqua**, **aria**, **fuoco**, aventi ognuno un suo luogo naturale e dotati di un moto rettilineo dal basso verso l'alto (*aria*, *fuoco*) o viceversa (*terra*, *acqua*), che avendo un inizio ed una fine dava origine ai processi di generazione e corruzione.
- ✓ la zona cosmica perfetta era quella dei cieli o del cosiddetto *mondo sopralunare*, formato da un elemento divino, l'etere, incorruttibile e perenne, il cui unico movimento era di tipo circolare e uniforme, senza principio e senza fine, eternamente ritornante su se stesso;

### **Eudosso**

Secondo il e matematico ed astronomo greco **Eudosso di Cnido** (in greco antico: Εὐδόξος ο Κνίδιος (408 a.C. – 355 a.C.), cui sono attribuiti importanti risultati matematici e che fu il primo a elaborare matematicamente lo schema delle sfere celesti, soltanto le **stelle fisse** possedevano un'unica sfera, mentre la **Luna** ed il **Sole** e **Mercurio** e **Venere** e **Marte** e **Giove** e **Saturno** possedevano più sfere ciascuno.

#### **Osservazioni**

L'anno di nascita è incerto, potrebbe essere compreso tra il «408 a.C.» e il «406 a.C.».

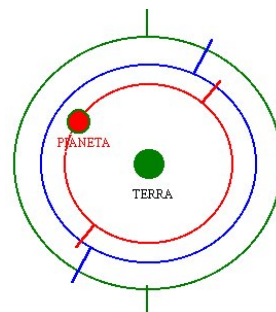
Gli antichi accomunavano sotto lo stesso nome di *planeti* e la **Luna** e **Mercurio** e **Venere** e **Marte** e **Giove** e **Saturno** (non conoscevano i pianeti più distanti, non essendo visibili a occhio nudo) e pure il **Sole**, perché si *muovono* sulla **Sfera celeste**, al contrario delle **stelle** che appaiono sempre come punti luminosi *fissi*.

**Eudosso** propose il primo modello in cui la **Terra** si trova al centro di sfere celesti omocentriche, ognuna delle quali contenente un pianeta, ma per tener conto della complessità dei moti planetari, ogni sfera planetaria dovette essere composta di più sfere, dotate ciascuna di un moto di rotazione uniforme

Nel disegno a fianco, si vede un corpo celeste che si trova inserito in un sistema di tre sfere legate tra loro da vincoli di rotazione come risultava e per la **Luna** e per il **Sole**.

La sfera più interna **rossa**, sulla quale è fissato il corpo celeste, ruota su se stessa attorno un asse vincolato alla seconda sfera **blu** in mezzo, la quale a sua volta ha l'asse di rotazione vincolato alla terza sfera **verde** più esterna.

Con questo modello il ed astronomo e matematico greco **Eudosso di Cnido** (408 a.C. – 355 a.C.), non solo spiegava i moti retrogradi dei pianeti, ma anche l'inclinazione dell'orbita dei pianeti rispetto a quella terrestre.





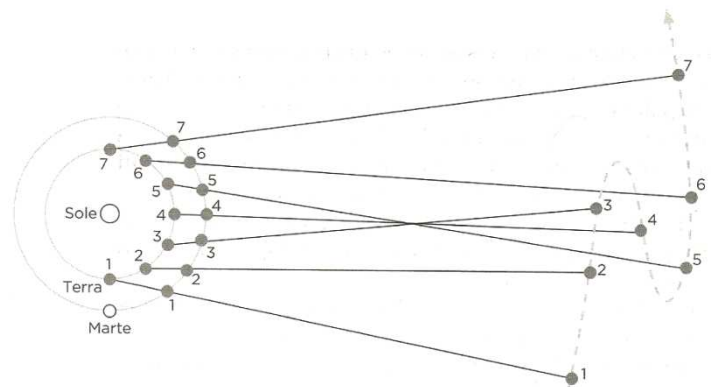
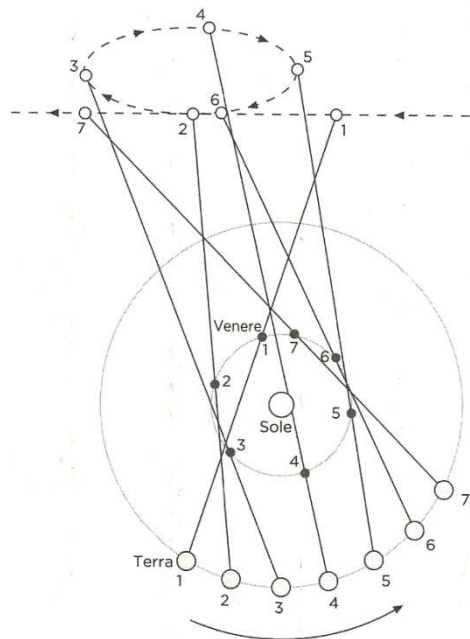
Man mano che si venivano a scoprire maggiori dettagli sul moto dei pianeti, divenne necessario aggiungere altre sfere.

Nonostante il moltiplicarsi delle sfere un modello a sfere geocentriche non poteva dar conto di importanti aspetti astronomici, fra cui:

- a) La distanza dei pianeti dalla Terra era costante e perciò la variazione della loro luminosità era difficilmente spiegabile
- b) Gli effetti causati dall'ellitticità delle orbite (la durata del semestre estivo più lunga di sette giorni rispetto a quello invernale; l'orbita di **Marte**, ecc.)
- c) I moti retrogradi dei pianeti, non compatibili col moto circolare uniforme a meno che anche la **Terra** avesse una sua orbita.

Il **moto retrogrado apparente** o **retrogradazione** è la traiettoria che sembra eseguire, un corpo celeste, che si muove, lungo la fascia zodiacale, nel verso opposto al moto diretto, cioè nel verso contrario a quello normalmente atteso, a causa dello spostamento del punto d'osservazione durante il moto di rivoluzione della **Terra**.

La definizione può riguardare sia moti di rivoluzione intorno ad un altro corpo, quelli che andremo ad analizzare, sia movimenti di rotazione intorno al proprio asse.



A sinistra il moto retrogrado di **Venere**.

A destra (sopra) il moto retrogrado di **Marte**.

Queste difficoltà furono ovviate da altri astronomi, soprattutto e da **Ipparco di Nicea** e da **Claudio Tolomeo**, introducendo modifiche *ad hoc*.

## Ipparco

L'astronomo ed geografo ed astrologo greco **Ipparco di Nicea**, noto anche come o **Ipparco di Rodi** o soltanto **Ipparco**, in greco antico: Ἰππάρχος, *Hípparchos* (190 a.C. – 120 a.C.), noto principalmente per la scoperta della precessione degli equinozi, è considerato il più grande astronomo dell'antichità.

### Osservazioni

Altre fonti danno date diverse sia per la nascita sia per la morte; si parte da «185 a.C.» per arrivare a «127 a.C.».

**Ipparco** immaginava e la **Luna** ed il **Sole** ed i pianeti: **Marte**, **Giove**, **Saturno** in rotazione attorno a cerchi di raggio minore, gli *epicicli*, i quali a loro volta ruotavano attorno alla **Terra** secondo orbite circolari con raggio maggiore, mentre e **Mercurio** e **Venere** erano in rotazione attorno al **Sole**.

Rifiutò anch'egli, per contro, l'idea della rotazione della Terra attorno a se stessa

## Teoria tolemaica

Il e astronomo e geografo e astrologo greco **Claudio Tolomeo** o semplicemente **Tolomeo** (in greco antico: Κλαύδιος Πτολεμαῖος, *Kláudios Ptolemáios*, in latino: *Claudius Ptolemaeus* (100 circa – 175 circa), fu autore di importanti opere scientifiche, la principale delle quali è il trattato astronomico noto come **Almagesto**.

### Precisazioni

Il titolo originale dell'Almagesto era **Mathematiké syntaxis** (in greco Μαθηματικὴ σύνταξις, ossia o *Trattato matematico* o *Megále syntaxis* (Grande sintassi o Grande trattato); il nome attuale deriva dall'arabo *al-Magistī*, a sua volta adattamento della parola greca Μεγίστη, *Megiste* (che significa *grandissima*), con cui era generalmente indicata l'opera.

**Tolomeo** riprende il sistema astronomico già descritto da **Archimede** qualche secolo prima, introducendovi, però, delle significative correzioni per rendere il suo modello geocentrico compatibile con le osservazioni degli astri effettuabili all'epoca.

A tal uopo utilizzò, per il suo modello astronomico, una famiglia di curve note come **epitrocoidi**; curve di rivoluzione generate dal movimento di una circonferenza su di un'altra (vedi figura a destra).

L'equazione parametrica dell'epitrocoide è:

$$x = R_D \cdot \cos(\theta) - r_e \cdot \cos\left(\frac{R_D}{r_e} \cdot \theta\right)$$

$$y = R_D \cdot \sin(\theta) - r_e \cdot \sin\left(\frac{R_D}{r_e} \cdot \theta\right)$$

In cui:  $x$  = ascissa del punto «P» sul sistema d'assi cartesiani -  $R_D$  = raggio della deferente -  $\theta$  = ampiezza angolare espressa in radianti -  $r_e$  = raggio dell'epiciclo.

### Osservazioni

Il significato dei termini e di **deferente** e di **epiciclo** verrà chiarito fra breve.

Seguendo quest'idea, **Tolomeo** postulò il suo modello d'universo supponendo che i pianeti si muovessero attorno alla **Terra** solidali a delle sfere che chiamò **epicicli** i quali, a loro volta, avevano il loro centro, mobile sulle sfere principali che chiamò **deferenti**.

I rapporti tra i raggi e della **deferente** e dell'**epiciclo** determinavano la reale forma della traiettoria di pianeta come si può notare nel disegno qui a sinistra.

Con l'uso degli epicicli, **Tolomeo** riusciva a spiegare il moto retrogrado dei pianeti, ma non riusciva a render conto dei cambiamenti di luminosità osservato nei pianeti durante il loro ciclo annuale.

Immaginò, pertanto, che tutte le grandi sfere deferenti si muovevano sì attorno alla **Terra**, ma il loro centro reale fosse un punto esterno alla stessa; punto che chiamò **equante**; e la **Luna** ed il **Sole** e tutti i

pianeti ruotavano attorno a questo punto ed in orbite circolari ed a velocità uniforme.

Nel disegno a destra si vede un esempio nel quale un pianeta ruota attorno al suo **equante** che non coincide con la posizione occupata dalla **Terra**.

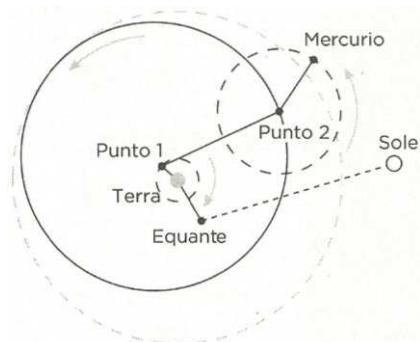
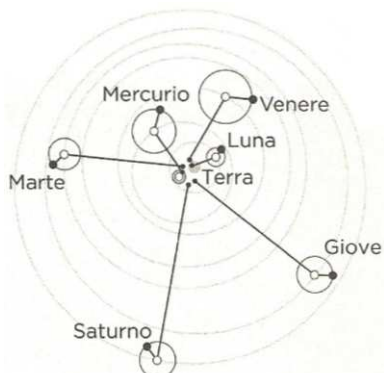
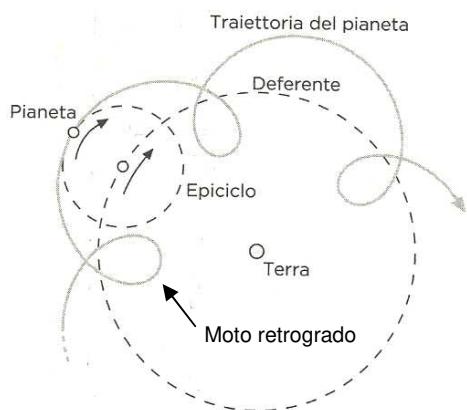
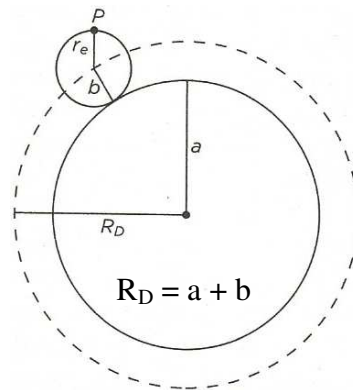
A ragione di questa eccentricità, i corpi celesti erano, in ogni punto del loro percorso, ad una differente distanza dalla Terra e questo determinava i cambiamenti di luminosità.

**Tolomeo**, che nel suo **Almagesto** distingue i pianeti sia in interni, e **Mercurio** e **Venere**, sia in esterni, e **Marte** e **Giove** e **Saturno**, assegna ad ognuno un proprio **equante** attorno al quale gira (vedi disegno a sinistra).

Il sistema tolemaico non è, pertanto, **geocentrico** in senso stretto, ma dovrebbe essere definito, più propriamente, sistema **geostatico**; la **Terra** immobile ed i pianeti che girano attorno al proprio **equante**.

Per quanto riguarda il pianeta **Mercurio**, **Tolomeo** introdusse una ulteriore circonferenza per generare un'eccentricità aggiunta (vedi disegno a destra).

Oltre il **Sole**, che ruota attorno al proprio **equante** vi è rappresentata la circonferenza aggiunta con centro nella **Terra** che permette il movimento complesso dei punti ed «1» e «2» in modo che il punto «2» generi la **deferente** di



**Mercurio**; sempre sul punto «2» si centra l'*epiciclo* corrispondente.

Il **sistema geocentrico**, fin qui descritto, è un modello astronomico che pone la Terra al centro dell'Universo, mentre tutti gli altri corpi celesti, si afferma, ruotino attorno ad essa; questa concezione dell'universo fu il sistema cosmologico predominante in molte civiltà dell'antichità come quella greca.

### **Tyco Brahe**

Il e astronomo e astrologo danese **Tycho Brahe**, in danese **Tyge Brahe**, un tempo chiamato in italiano anche **Ticone** (1546 – 1601), credeva in un modello geocentrico, che prese poi il nome di **Sistema ticonico**, secondo cui il **Sole** girerebbe attorno alla **Terra** ritenuta immobile, e tutti gli altri pianeti girerebbero attorno al **Sole**),

### **Copernico**

Poi venne e l'astronomo e matematico e presbitero polacco **Niccolò Copernico**, in latino **Nicolaus Copernicus**, in tedesco **Nikolaus Kopernikus**, in polacco **Mikołaj Kopernik**, (1473 – 1543) che nel 1543 nel suo libro **De Revolutionibus orbium coelestium** (*Le rivoluzioni dei mondi celesti*) propose la corretta visione del *Sistema solare*.

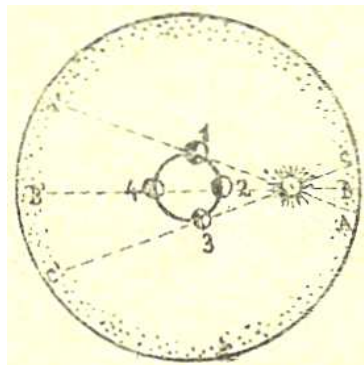
## Assurdi sistemi solari

### Le elucubrazioni umane

Il **sistema astronomico** ideato dell'italiano signor **G. B. Olivero** di Murello, definito dall'Autore «**La più grande scoperta del secolo**» e presentato come «*Trattato di Astronomia basato sul sistema solare stabilito dalla curva (meridiana del tempo medio) con la dimostrazione geometrica meccanica dell'origine di detta meridiana e di tutti i fenomeni astronomici annuali che si osservano in natura*» è illustrato nel disegno qui a destra.

Nella **teoria oliverana** la Terra e gira ed attorno ad un punto matematico, in cui non vi è presenza di materia, posto ad una certa distanza dal Sole e si sposta lungo un cono, avente per vertice il *polo nord cosmico* con un angolo dell'ampiezza di  $47^\circ$ .

L'**Olivero**, che si vantava di essere un **membre de la Société Astronomique de France**, rimase particolarmente impressionato dal fatto di non essere riuscito, applicando un suo teorema al **sistema copernicano**, ad ottenere la *curva ad otto*, curva che effettivamente il sole sembra percorrere nel cielo: la *lemniscata dei tempi medi* o **L'analemma** (vedi nella dispensa dello stesso Autore *Il Manualetto del Wayfaring* in **L'analemma**, a pagina 9).



#### Osservazioni

Il primo a descrivere questa curva, l'Analemma, fu l'astronomo francese **Jean-Paul Grandjean de Fouchy** (1707 – 1788).

Membro della Società Astronomica di Francia non è un titolo accademico; chiunque può fregiarsi del titolo di *membre de la Société Astronomique de France* semplicemente abbonandosi al bollettino mensile da questa pubblicato.

Come parimenti chiunque può farsi chiamare **membro della Società Astronomica Italiana** pagando l'abbonamento del bollettino da essa pubblicato.

Sorvolando sulle innumerevoli epistole inviateli da eminenti astronomi quali: lo **Schiaparelli**, il **Celoria**, il **Millosevich**, e tralasciando il fatto che svariati altri illustri astronomi ritennero che Il nuovo sistema del signor Olivero **non** meritasse di essere preso in considerazione e seriamente discusso dagli astronomi e dai corpi scientifici, sottolineo solo un aspetto, dei molteplici, che possa spiegare, anche a chi non abbia mai inteso parlare di astronomia quali assurdità sono contenute in una simile teoria.

Tirate le rette e «A' A» e «B' B» e «C' C» che sono le direzioni da cui un osservatore sulla Terra vedrebbe il Sole quando si trovasse rispettivamente nei punti ed «1» e sia «2» sia «4» e «3» che individuano quattro diverse epoche dell'anno.

In questa situazione non solo dovremmo osservare il Sole che oscilla e da «A» a «C» e da «C» ad «A», passando ogni volta per «B», ma dietro il Sole vedremo alternarsi solo pochissime costellazioni dello zodiaco le quali dovrebbero procedere alternativamente ed in avanti ed all'indietro.

Tutto ciò, ovviamente, non avviene.

#### Precisazioni

Lo **zodiaco** è una fascia della volta celeste che si estende per « $9^\circ$ » da entrambi i lati dell'eclittica (il percorso apparente del Sole nel suo moto annuo) e comprendente anche i percorsi apparenti della luna e dei pianeti.

# Indice analitico

Paragrafi	Pagine
<b>Alcuni valori caratteristici</b> (e della Terra e della Luna e del Sole)	
. . . . .	03
<b>Distanze fra i baricentri di due corpi celesti</b>	
. . . . .	03
Terra-Luna Terra-Sole	
<b>Le tre leggi di Keplero</b>	
. . . . .	04
<b>La legge di Hubble</b>	
. . . . .	04
<i>Le principali formule di</i> <i>Astronomia</i>	
. . . . .	05
<b>Accelerazione centripeta di rotazione all'equatore: <math>Ac_{ex}</math></b>	05
<b>Accelerazione centripeta di rotazione alla latitudine <math>\varphi</math>: <math>Ac_{\varphi x}</math></b>	05
<b>Accelerazione centripeta media di rivoluzione: <math>Ac_x</math></b>	05
<b>Accelerazione di gravità media alla quota <math>Q_0</math> (sulla superficie): <math>g_{0x}</math></b>	05
<b>Accelerazione di gravità media alla quota <math>Q_h</math>: <math>g_{Qhx}</math></b>	06
es. $Q_{aTL} = 86\,716\,120\text{ m}$ (quota del punto abarico medio <i>Terra - Luna</i> dalla superficie terrestre)	
es. $Q_{LGS} = 86\,716\,120\text{ m}$ (quota dell'orbita sincrona dalla superficie lunare)	
es. $Q_{aLT} = 4.488 \cdot 10^{11}\text{ m}$ (quota del punto abarico medio <i>Luna - Terra</i> dalla superficie lunare)	
<b>Centro medio di massa fra due corpi celesti: <math>C_{xy}</math></b>	06
<b>Circonferenza all'equatore: <math>C_{ex}</math></b>	07
<b>Circonferenza del parallelo alla latitudine <math>\varphi</math> (considerando il corpo sferico): <math>CP_{\varphi x}</math></b>	07
<b>Coefficiente di potenziale della forza centrifuga all'equatore: <math>mp_{xe}</math></b>	07
<b>Costante gravitazionale planetaria: <math>\mu_{0x}</math></b>	07
<b>Costante gravitazionale universale: <math>G</math></b>	08
<b>Distanza del punto medio di equilibrio gravitazionale, fra due astri: <math>Xg_{xy}</math></b>	08
fra Terra e Luna (contato dal centro della Terra)	
fra Terra e Sole (contato dal centro della Terra)	
<b>Eccentricità orbitale: <math>E_x</math></b>	08
<b>Energia cinetica rotazionale: <math>Ecr_{xx}</math></b>	08
<b>Energia cinetica totale, di una massa unitaria <math>Mu</math> sulla superficie, alla latitudine <math>\varphi</math>: <math>Et_{x\varphi e}</math></b>	09
<b>Energia cinetica traslazionale, di una massa unitaria <math>Mu</math>, alla latitudine <math>\varphi</math>: <math>Ect_{x\varphi}</math></b>	09
<b>Forza di attrazione fra due astri, alla distanza media: <math>F_{xy}</math></b>	10
fra Terra e Luna	
fra Terra e Sole:	
<b>Lunghezza approssimata dell'orbita di rivoluzione: <math>L_{orx}</math></b>	10
<b>Massa di alcuni astri: <math>M_x</math></b>	10
<b>Massa (conoscendo la quota <math>Q_h</math> ed il periodo orbitale <math>P_{rivx}</math> di un'astro): <math>M_x</math></b>	11
es. $Q_T = 35\,793\,126\text{ m}$ ; $P_{Triv} = 86\,164.091\text{ s}$ (orbitante intorno alla Terra):	
es. $Q_T = 86\,716\,120\text{ m}$ ; $P_{Triv} = 2\,360\,591.5\text{ s}$ (orbitante intorno alla Luna):	
<b>Massa volumica media (densità media): <math>d_{mvx}</math></b>	11
<b>Momento principale d'inerzia dell'astro: <math>I_{xx}</math></b>	11
teorico	
reale	
<b>Periodo di rotazione siderale ( o sidereo): <math>P_{rotXe}</math></b>	11
<b>Periodo di rotazione sinodico: <math>Psi_{rotXe}</math></b>	12

Periodo orbitale a $Q_h = 0$ slmm (traiettoria circolare prossima alla superficie): $P_X$	12
Periodo orbitale di una massa unitaria $M_u$ , che ruota alla quota $Q_h$ : $P_{orbX}$	13
Periodo orbitale di una massa trascurabile $M_t$ , in orbita, o circolare od ellittica, attorno ad un corpo centrale: $P_{Mt_{orbX}}$	13
Quota di rivoluzione di una massa unitaria $M_u$ , con periodo orbitale $P_{orbX}$ : $Q_{orbX}$	13
Quota dell'orbita sincrona, o geostazionaria, contata dalla superficie dell'astro: $Q_{OsX}$	14
Raggio del parallelo alla latitudine $\phi$ (considerando il corpo sferico): $R_{p\phi X}$	14
Rapporto fra la massa da due corpi, ed il reciproco del rapporto: $W_{XY}, W_{XY}^{-1}$	15
Rapporto fra: massa della Terra - massa della Luna, ed il reciproco: Rapporto fra: massa del Sole - massa della Terra, ed il reciproco:	
Superficie: $St_X$ (considerando il corpo sferico)	15
Velocità angolare di rotazione: $\omega_X$	15
Velocità di evasione, o di fuga, dalla superficie: $V_{fX}$	15
Velocità di sustentazione alla quota sincrona, o geostazionaria: $V_{GX}$	16
Velocità di sustentazione planetaria in prossimità della superficie: $V_{sX}$	16
Velocità di sustentazione planetaria alla quota $Q_h$ : $V_{sQ_hX}$	16
Velocità orbitale: $V_{OXw}$ per la Terra: all'AFELIO; per la Luna: all'APOGEO: media: per la Terra: al PERIELIO; per la Luna: al PERIGEO:	17
Velocità tangenziale di rotazione all'equatore: $v_{eX}$	17
Velocità tangenziale di rotazione alla latitudine $\phi$ (considerando il corpo sferico): $v_{\phi X}$	17
Volume dell'astro: $Vt_X$ (considerando il corpo sferico)	18

### *Simboli utilizzati nel testo*

. . . . . 19

### *Valori da ricordare*

Costanti e conversioni ed altro	23
---------------------------------	----

### *Alcuni valori caratteristici*

Valori della Terra	24
Valori della Luna	28
Valori del Sole	30
Valori del Sistema solare	31
Valori della nostra Galassia	32
Valori dell'Universo	32

### *Distanza media dei pianeti dal Sole*

. . . . . 33

### *Caratteristiche dei pianeti del Sistema solare*

. . . . . 34

### *Caratteristiche dei Satelliti del Sistema solare*

. . . . . 35

### *Periodo e siderale e sinodico*

. . . . . 37

### *Ancora sui pianeti*

	.	.	.	.	.	.	.	38
Nome dei pianeti in latino	.	.	.	.	.	.	.	38
Nome dei pianeti in inglese	.	.	.	.	.	.	.	38

## Una semplice suddivisione

[illegible]

## Alcune scoperte

[illegible]

## Abbiamo inoltre

**I pianeti nani** . . . . . **38**

## L'UAI riconosce cinque pianeti nani

[illegible]

*I buchi neri*

[illegible]

## Proprietà fisiche dei buchi neri

## Rotazione fra due corpi

[illegible]

**Due corpi, con masse dello stesso ordine di grandezza,  
che ruotano l'uno attorno all'altro**

## *I moti dalla Terra*

[illegible]

## Gli esopianeti

	.	.	.	.	.	.	.	.	48
<b>Metodi di individuazione</b>	.	.	.	.	.	.	.	.	49
<b>I pianeti ctoni</b>	.	.	.	.	.	.	.	.	50

## Pianeti extrasolari notevoli

51

*Le esolune*

. . . . . 52

*I pianeti interstellari*

. . . . . 52

**Pianeti interstellari o conosciuti o possibili candidati** . . . . . 52*Le lenti gravitazionali*

. . . . . 53

**Premessa** . . . . . 53**Effetti** . . . . . 53**Curiosità** , , , , , , , , , , , , , , 53*Le onde gravitazionali*

. . . . . 54

**Premessa** . . . . . 54**La scoperta delle onde gravitazionali** . . . . . 54**Strumentazione utilizzata** . . . . . 54*La formula di Drake*

. . . . . 55

**Premessa** . . . . . 55**La formula** . . . . . 55*Alcuni sistemi solari  
prima di Copernico*

. . . . . 56

**Anassimandro** . . . . . 56**Aristotele** . . . . . 56**Eudosso** . . . . . 56**Ipparco** . . . . . 57**Teoria tolemaica** . . . . . 57**Tyco Brahe** . . . . . 59**Copernico** . . . . . 59*Assurdi sistemi solari*

. . . . . 60

**Le elucubrazioni umane** . . . . . 60**Indice analitico** . . . . . 61**Bibliografia** . . . . . 65



## Bibliografia

[R. 01] AA. VV. (1978) a cura di: J. Cornet e N. Hayes  
L'Uomo e il cosmo  
Ed: Newton Compton editoti – (Roma)

[R. 02] G. Amaldi (1967)  
Il sistema planetario  
Ed: Eri – Classe unica – (Torino)

[R. 03] C. Cremona (1969)  
Il volo spaziale  
Ed: Eri – Classe unica – (Torino)

[R. 04] Graham Farmelo (2009)  
Equilibrio perfetto  
Ed: Fabbri Editori – (Bergamo)

[R. 05] José Luis Huertas Díaz (2013)  
Copernico L'eliocentrismo  
Grandi idee della scienza  
Ed: Rotativas de Estella – (Navarra)

[R. 06] Margherita Hack (2009)  
L'universo nel terzo millennio  
Ed: Fabbri Editori – (Bergamo)

[R. 07] G. Ranzini (2000)  
Astronomia  
Ed: Istituto Geografico de Agostini – (Novara)

[R. 08] Aurelio C. Robotti (1979)  
Fondamenti della locomozione nello spazio  
Ed: Unione Tipografico-Editrice Torinese – (Torino)