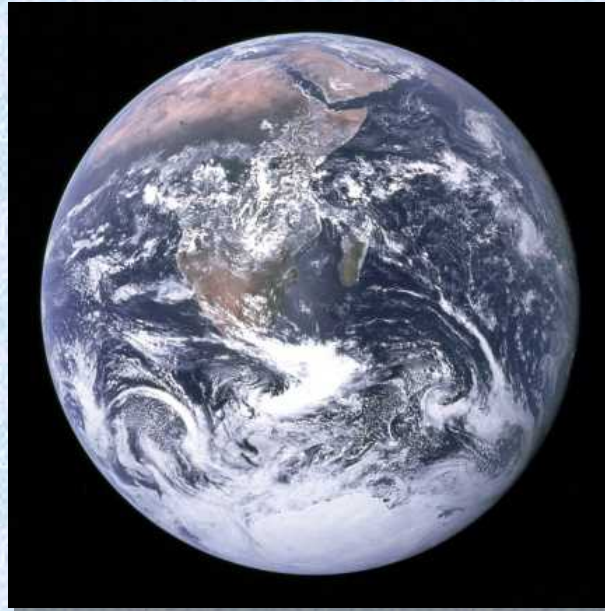


# FORMA E DIMENSIONI DELLA TERRA

---



*Blue Marble (1972)*

*“... un martedì di dicembre, verso l'ora di pranzo, .... rivelò la sua scoperta: “La terra è rotonda come un'arancia.”*  
José Arcadio Buendía del paese immaginario di Macondo  
in *Cien años de soledad* (1967) di Gabriel José de la Concordia García Márquez (1927–2014)

Popoli delle antiche civiltà fecero le prime, varie e stravaganti, ipotesi sulla forma della Terra ma la sfericità della Terra era nota e accettata (anche se pur ragioni mistiche) sin dai tempi di Pitagora (VI-V sec. a.C.) e dai suoi discepoli nel V sec. a.C.

Prove indirette furono illustrate per la prima volta da Eudosso di Cnido (IV sec. a.C.) il quale faceva osservare come variasse l'altezza delle stelle (la Polare in particolare) rispetto alla linea dell'orizzonte procedendo verso il Nord.

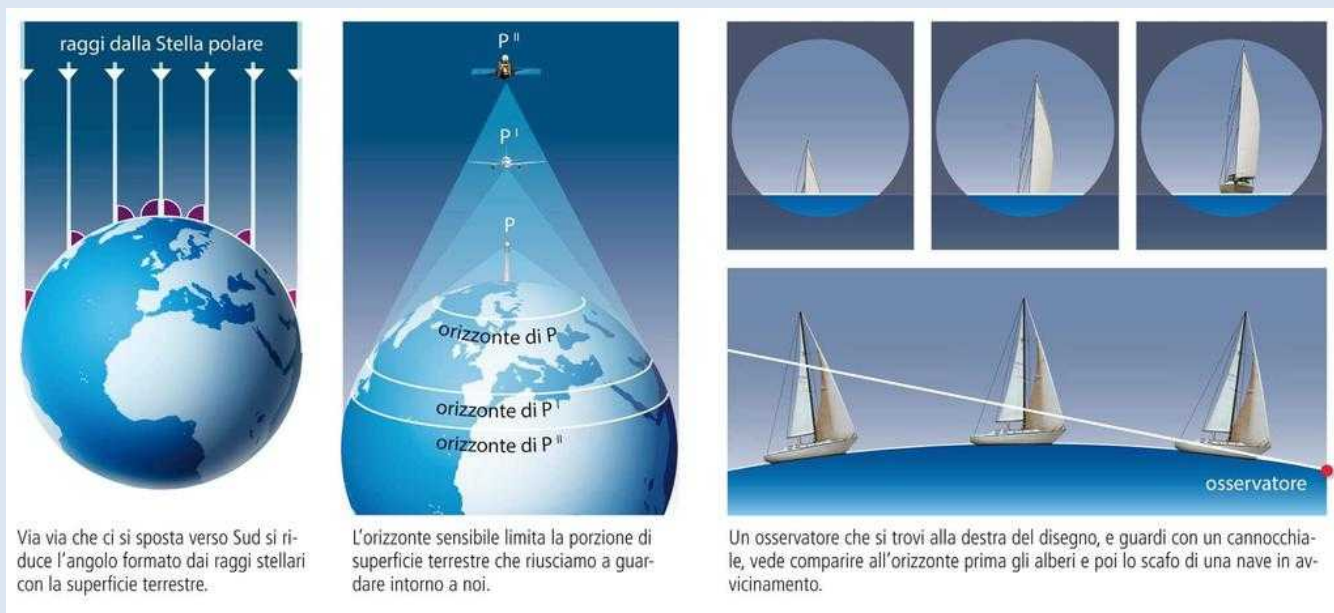
Aristotele (IV sec. a.C.) riporta le prime citazioni scritte, nel *De caelo*, sulle prove della sfericità tra cui quella dell'ombra della Terra proiettata sulla Luna durante le eclissi era costantemente curva.



Strabone (I sec. a.C. – I sec. d.C.) e Tolomeo (II sec- a.C.) chiarivano che l'orizzonte si allargava man mano che si procedeva in altezza.

Cleomede (I sec. a.C.) insisteva sulla circolarità della linea dell'orizzonte.

I marinai osservavano come variasse l'altezza delle navi in avvicinamento e in allontanamento.



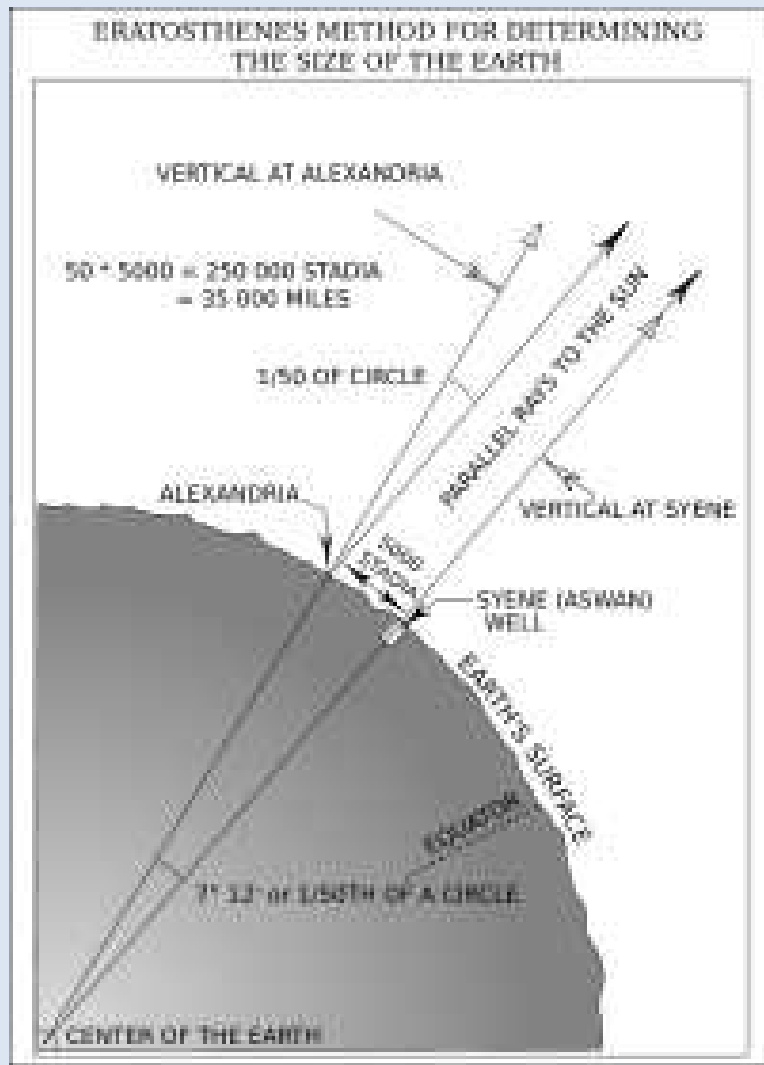
Passo successivo fu quello di conoscere le dimensioni di tale sfera.

Tra i vari metodi quello astronomico di **Eratostene di Cirene** (III-II sec. a.C.), effettuato intorno all'anno 240 a.C. e descritto in *De motu circulari corporum caelestium* (I, 10) di Cleomede (I sec. a.C.), è il più noto e famoso.

In sintesi: al solstizio estivo, a mezzogiorno, il Sole a Syene (odierna Assuan) era allo zenit, mentre, nello stesso istante ad Alessandria d'Egitto, proiettava ombre. Mediante l'uso di un orologio solare a forma di scodella (*scafa*) Eratostene determinò la distanza angolare  $\beta$  del Sole dallo zenit nel solstizio estivo ad Alessandria d'Egitto che risultò essere un cinquantesimo di angolo giro. Poiché riteneva che Syene si trovasse sullo stesso meridiano e a una distanza di circa 5000 stadi in direzione sud da Alessandria d'Egitto, Eratostene, con una semplice proporzione, ottenne un risultato di notevole precisione per quei tempi.

Il risultato fu di 250000 stadi, poi arrotondati a 252000 per far corrispondere la lunghezza d'arco di  $1^\circ$  alla cifra tonda di 700 stadi ( $252000/360^\circ = 700$  stadi), per la lunghezza della circonferenza di una Terra sferica.

Considerando il valore di uno stadio, antica misura di lunghezza il cui valore variava da regione e regione, uguale a 157,5 metri (stadio dell'agrimensori egizi) deriva una circonferenza di 39375 chilometri di lunghezza. Un valore inferiore al 2% rispetto a quello oggi riconosciuto.



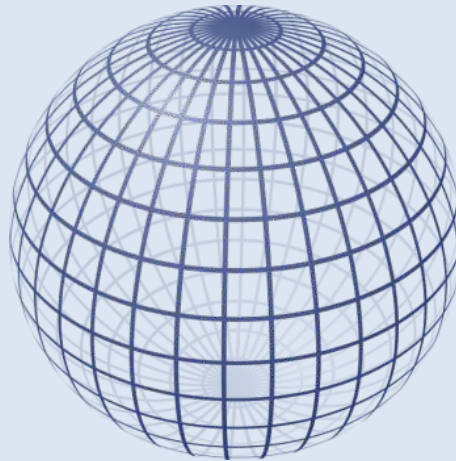


VALORI STORICI			
	400000 stadi	Eudosso da Cnido (IV-III sec. a.C.)	riportato da Aristotele di Stagira (IV sec. a.C.) nel <i>De Caelo</i>
	300000 stadi	Dicearco da Messina (IV-III sec. a.C.) Lisimachia – Siene stelle del Cancro e Testa del Drago	
	277000 stadi	Ipparco di Nicea (II sec. a.C.)	
350 a.C.	262100 stadi	Pitea di Massalia (III sec. a.C.) Marsiglia - Capo Orcas (a nord della Scozia) Sole agli equinozi	6570 chilometri
240 a.C.	<b>250000 stadi</b> <b>252000 stadi</b>	<b>Eratostene da Cirene (III-II sec. a.C.)</b> <b>Alessandria d’Egitto – Siene</b> <b>Sole al solstizio estivo</b>	<b>descritto da Cleomede (I sec. a.C.) in <i>De motu circulari corporum caelestium</i> (I, 10)</b>
100 a.C.	180000 stadi	Posidonio di Apamea (II-I sec. a.C.) Alessandria d’Egitto – Rodi stella Canopo	erronea per la rifrazione atmosferica ripreso da Claudio Tolomeo (II sec. a.C.) fu questa misura a condizionare la cultura occidentale per molti secoli e i viaggi di Colombo e Magellano
	300000 stadi	Cleomede (I sec. a.C.)	
827	254526 stadi (media)	al Mamun (786-833) pianura di Sinjar, Racca – Palmira stella Polare "diretto con pertiche nelle due direzioni N-S"	56 miglia arabe e 400 cubiti neri 56 miglia arabe + 2/3 e 400 cubiti neri 1 miglio arabo = 4000 braccia nere dell'Iraq di 24 dita = 1973.20 metri
850	255830 stadi	al Farghani (Alfragrano) (IX sec. d.C.)	6500 miglia arabe (diametro) <i>Liber de aggregationibus</i> (un compendio dell’Almagesto di Tolomeo) Dante Alighieri (1265-1321) nel <i>Convivio</i> (1303-1308) riporta il valore di Alfragrano (IV VIII 58-60)
1017	252935 stadi	al Biruni (973-1048) pianura iraniana di Gorgān [piana di Dihistan - Jurjān] "trigonometrico con depressione orizzonte"	20189 miglia arabe <i>al-Qanun al-masudi</i> (1035) in undici libri, il settimo capitolo del libro V è dedicato alla geodesia
	255830 stadi	Paolo Dal Pozzo Toscanelli (1397-1482) in Toscana San Pietro a Grado PI	67 2/3 miglia fiorentine = 111927 metri
1528	257250 stadi	Jean François Fernel (1497-1558) Parigi – Amiens Sole e "giri di ruota"	57746 tese 1 tesa di Parigi = 1.9490 metri <i>Cosmotheoria</i> [Fernel, 1528]

La scienza che studia forma e dimensioni della Terra nonché la determinazione del suo campo gravitazionale è la **geodesia**, la cui etimologia dal greco significa “*dividere la terra*” traendo origine dall’agrimensura.

La *geodesia* fa parte delle scienze della Terra ed è strettamente connessa con l’*astronomia* e la *geofisica*.

Nella sua evoluzione storica la possiamo suddividere nelle seguenti tre ere:



**era sferica** (o pre-newtoniana) durata quasi duemila anni

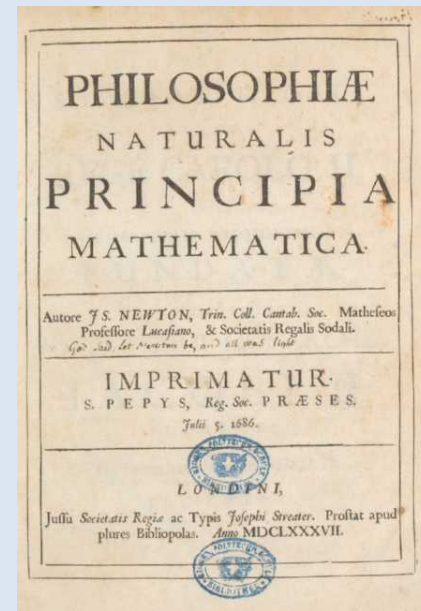


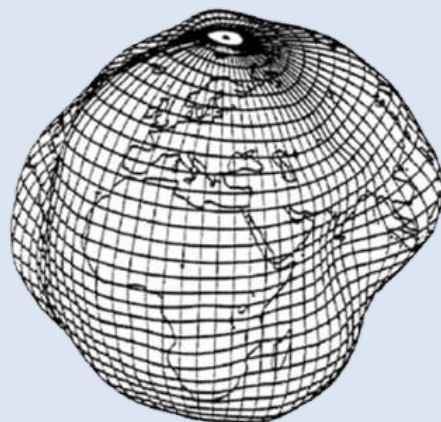


**1673** *Horologium oscillatorium* di Christiaan Huygens (1629-1695) in cui enuncia i teoremi sulla forza centrifuga di una massa ruotante.

**1679** *Observations Astronomiques et Physiques Faites in L'Isle de Caienne* di Jean Richer (1630-1696) in cui descrive la prima evidenza sperimentale dello schiacciamento polare e del rigonfiamento equatoriale e, conseguentemente, che la forma della Terra non è perfettamente sferica.

**1687** *Philosophiæ naturalis principia Mathematica* di Isaac Newton (1643-1727) in cui postula l'ellissoide schiacciato ai poli, ne calcola il rapporto tra gli assi e la legge di variazione della gravità in superficie.





**era geoidale** consolidatasi dalla seconda metà del XX secolo con l'avvento dei satelliti artificiali

**1828** *Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona durch Beobachtungen am Ramsdenschen Zenithsector (Determinazione della differenza di latitudine tra gli osservatori di Göttingen e Altona mediante osservazioni al settore zenitale di Ramsden) di Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855) in cui viene descritta, per la prima volta, la "figura matematica della Terra": una superficie liscia ma irregolare la cui forma risulta dalla distribuzione irregolare della massa all'interno e sulla superficie terrestre.*

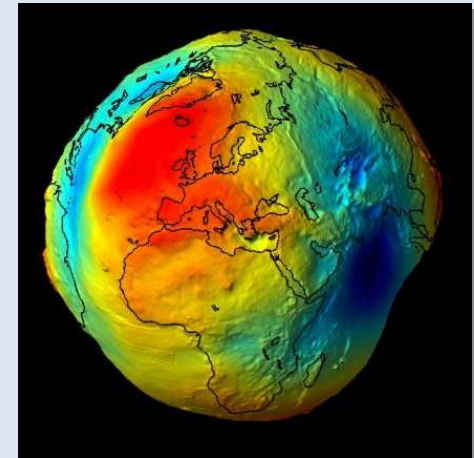
**1873** *Ueber unsere jetzige Kenntnis der Gestalt und Grose der Erde (Sopra la nostra attuale conoscenza della forma e delle dimensioni della Terra)* di Johann Benedict Listing (1808-1882) conia il termine *geoide* per la *superficie matematica della Terra*.

La vera forma della Terra è il **geoide**.

Un solido irregolare delimitato da una superficie perpendicolare in ogni punto alla direzione della forza di gravità e passante per livello medio dei mari prolungata al di sotto dei continenti.

Si tratta di una particolare *superficie equipotenziale del campo della gravità* risultante dalla **forza d'attrazione gravitazionale** (dovuta alla massa della Terra) e dalla **forza centrifuga** (dovuta alla rotazione della Terra intorno al proprio asse polare).

Ha una trattazione matematica estremamente complessa (poiché richiede la conoscenza della legge di distribuzione della massa all'interno della Terra) che tiene conto di parametri sia fisici sia geometrici.



**L'ellissoide di riferimento** è un ellissoide di rotazione biassiale e oblato la cui superficie, trattabile matematicamente, meglio approssima il geoide (la vera forma della Terra) mediandone le sue depressioni e i suoi rigonfiamenti i cui parametri geometrici si ottengono con misure geometriche di archi di meridiano e di parallelo, con misure gravimetriche e dallo studio delle traiettorie gravitazionalmente perturbate dei satelliti artificiali.

**PARAMETRI GEOMETRICI DI ALCUNI ELLISSOIDI DI RIFERIMENTO**

ve ne sono oltre un centinaio

ellissoide	raggio equatoriale	raggio polare	eccentricità <sup>2</sup>	schacciamento	circonferenza
locale Bessel (1841)	6 377 397.16 m	6 356 078.96 m	0.006 674 372	1/299.152	40 070 368 m
locale Hayford (1909)	6 378 388.00 m	6 356 911.95 m	0.006 722 670	1/297.000	40 076 593 m
globale WGS (1984)	6 378 137.00 m	6 356 752.31 m	0.006 694 380	1/298.257	40 075 016 m

Nella cartografia si utilizza l'ellissoide di riferimento per il posizionamento orizzontale (longitudine e latitudine) e il geoide per le altitudini.

#### VERTICE TRIGONOMETRICO DI MONTE MARIO IN ROMA

in coordinate geografiche nei vari sistemi

nel sistema internazionale UTM ED50	12°27' 10.933" E di Greenwich	41°55' 31.487" N
nel sistema nazionale GB 40	12°27' 08.400" E di Greenwich	41°55' 25.510" N
nel sistema WGS84	12°27' 07.658" E di Greenwich	41°55' 27.851" N

Gli apparati di posizionamento satellitare (es. GPS, GLONASS, etc.) forniscono la **quota ellissoidica** (distanza dell'osservatore dall'ellissoide di riferimento utilizzato) che è diversa dalla **quota geoidica** (distanza dell'osservatore sul livello del mare).

Alle nostre latitudini 1° grado d'arco meridiano equivale a circa 111 km, 1' primo d'arco a circa 1852 metri (miglio nautico) e 1" secondo d'arco a circa 30 metri.



## PROVE DELLA SFERICITÀ DELLA TERRA

prove della curvatura della superficie terrestre	aumento dell'ampiezza dell'orizzonte con l'altitudine del punto di osservazione [Aristotele]	
	variazione dell'altezza delle stelle sull'orizzonte spostandosi lungo un meridiano [Aristotele]	
prove della quasi sfericità della Terra	Storiche	comparsa/scomparsa graduale di un oggetto all'orizzonte [Aristotele]
		forza di gravità che agisce secondo i raggi di una sfera
		viaggi di circumnavigazione [iniziati con quello di Magellano nel 1519-1522, descritto da Pigafetta in <i>Relazione del primo viaggio intorno al mondo</i> (1524-1525)]
		analogia con gli altri corpi celesti (soprattutto Luna) [Pitagora]
		forma circolare dell'ombra proiettata dalla Terra sulla Luna durante le eclissi lunari [Pitagora]
	Moderne	alla stessa ora e nello stesso giorno, ma in luoghi diversi, la lunghezza dell'ombra di un oggetto di pari altezza è diversa
		l'esistenza dei fusi orari, creati in conseguenza del fatto che il dì e la notte non si verificano allo stesso tempo sulla superficie terrestre [Quirico Filopanti (pseudonimo di Giuseppe Barilli) in <i>Miranda!</i> (1858) propose e in <i>L'universo</i> (1871) sviluppò]
		fotografie dallo spazio [Blue Marble ( <i>biglia blu</i> ), scattata il 7 dicembre 1972 ad una distanza di circa 45000 km dall'Apollo 17 (11 <sup>a</sup> missione: Cernan-Evans-Schmitt; 7-11 dicembre 1972)]



I quattro pianeti interni del Sistema Solare o di tipo terrestre. Analogia sferica.

## MOTI DELLA TERRA

01	moto di rotazione (intorno al proprio asse)	Prove	apparente spostamento diurno dei corpi celesti
			<p>analogia con gli altri corpi celesti (Luna e pianeti)</p> <p>1<sup>a</sup> dimostrazione diretta della rotazione terrestre esperienza di Guglielmini (Bologna, 1791-1792) “deviazione della verticale nella caduta libera dei corpi” <i>De diurno Terrae Motu</i> (1792)</p> <p>2<sup>a</sup> dimostrazione diretta della rotazione terrestre esperienza di Foucault (Parigi, 1851) “rotazione apparente del piano di oscillazione del pendolo” <i>Démonstration du Mouvement de Rotation de au moyen du Pendule</i> (1851)</p>
02	moto di rivoluzione (intorno al Sole)	Conseguenze	<p>schacciamento polare e rigonfiamento equatoriale</p> <p>1<sup>a</sup> evidenza sperimentale dello schiacciamento polare terrestre esperienza di Richer (Cayenne, 1671-1673) “variazione dell’accelerazione di gravità con la latitudine” <i>Observations Astronomiques et Physiques Faites in L’Isle de Caienne</i> (1679)</p> <p>alternanza del dì e della notte</p> <p>“spostamento della direzione dei corpi in moto sulla superficie lungo un meridiano” (Coriolis, 1835 e Ferrel, 1856) <i>Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps</i> (Coriolis, 1835) <i>An essay on the winds and currents of the ocean</i> (Ferrel, 1856)</p>
			<p>analogia con gli altri pianeti</p> <p>periodicità di alcuni gruppi di stelle cadenti</p> <p>1<sup>a</sup> evidenza sperimentale della rivoluzione terrestre, aberrazione della luce degli astri (Bradley, 1728) “spostamento apparente della posizione di un astro rispetto alla posizione reale” <i>A Letter from the Reverend Mr. James Bradley Savilian Professor of Astronomy at Oxford, and F.R.S. to Dr. Edmond Halley Astronom. Reg. &amp;c. Giving an Account of a New Discovered Motion of the Fix’d Stars</i> (1728)</p> <p>diversa durata del dì e della notte durante l’anno</p> <p>alternanza delle stagioni</p> <p>diversa durata del giorno solare e del giorno siderale</p> <p>variazione della distanza Terra e Sole</p>

03	<b>precessione degli equinozi</b> (Ipparco di Nicea, II sec. a.C.) [spostamento di 50.26" annuo per un periodo di circa 25800 anni ( <i>anno platonico</i> )]
04	<b>nutazione</b> (Bradley, 1748) [periodo di circa 18.58 anni]
05	<b>migrazione dei poli terrestri</b> ( <i>polodia</i> ) (Nobile, 1885 e Kustner, 1888)
06	<b>spostamento della linea degli apsidi</b> [periodo di circa 18000 anni]
07	<b>traslazione del Sistema Solare entro la Galassia (Via Lattea)</b> [con velocità di circa 26.4 km/s, diretta verso la costellazione dell'Ercole]
08	<b>moto del sistema Terra-Luna</b>
09	<b>variazione secolare dell'obliquità dell'asse terrestre</b> [spostamento di circa 0.48 gradi/anno in un angolo compreso tra i 28 e i 21 gradi circa]
10	<b>traslazione della Galassia (Via Lattea)</b> [con velocità di circa 600 km/s, diretta verso la costellazione del Capricorno]
11	<b>perturbazioni gravitazionali planetarie</b>
12	<b>variazione secolare dell'eccentricità dell'orbita terrestre</b> [tendente alla forma circolare diminuendo di circa $43 \cdot 10^{-6}$ all'anno (dato al 1967)]
13	<b>spostamento del baricentro del Sistema Solare nella Galassia (Via Lattea)</b>
14	<b>rotazione della Galassia</b> (Lindblad, 1926)
15	<b>maree marine e crostali conseguenti all'attrazione luni-solare</b>
16	<b>rivoluzione del Sistema Solare intorno al centro della Galassia (Via Lattea)</b> [periodo di circa 226 milioni di anni ( <i>anno cosmico</i> )]

**F I N E**

**GRAZIE DELL'ATTENZIONE**