

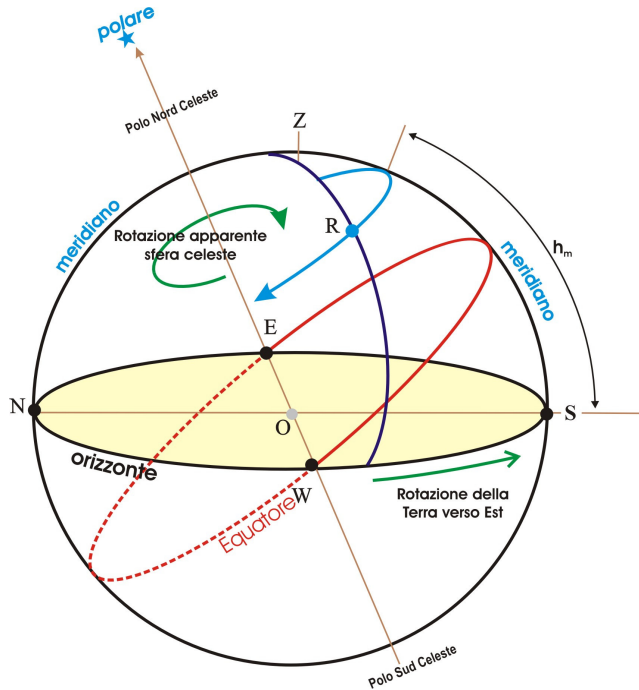
# FONDAMENTI ASTRONOMICI

**GIORNO:** il tempo che grossolanamente la Terra impiega a fare un giro su se stessa

**ANNO:** con grande approssimazione il tempo che la Terra impiega a compiere un giro attorno al Sole.

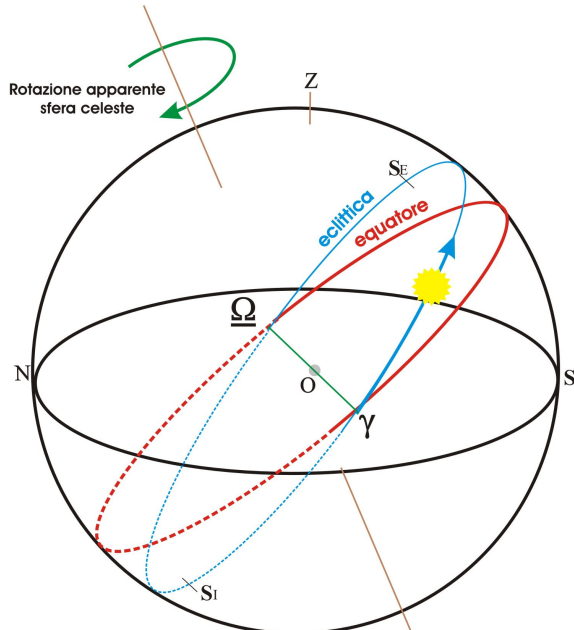
**MESE:** derivato dal ciclo delle fasi lunari che si ripetono ogni 29 giorni e mezzo circa.

L'ANNO corrisponde anche al ciclo dell'altezza del Sole a mezzogiorno, che passa da un massimo ad un minimo e viceversa.



Il punto perpendicolare all'osservatore è lo **zenit (Z)**. N e S sono i punti cardinali Nord e Sud individuati dalle intersezioni con l'orizzonte del cerchio massimo passante per i poli e per lo zenit e che è detto **meridiano celeste**. La retta NS è detta **linea meridiana**.

Il semicerchio meridiano che va dal polo nord al polo sud attraverso lo zenit è detto **meridiano superiore**, l'altro semicerchio che, che passa per il nadir (opposto allo zenit) è il **meridiano inferiore**. E e W sono i punti cardinali Est e Ovest dove l'equatore celeste taglia l'orizzonte che lo divide esattamente a metà. La distanza angolare di un qualsiasi astro R dall'orizzonte è detta **altezza di un astro**. Vale ZERO quando l'astro è all'orizzonte (sorgere e tramontare) e  $90^\circ$  quando allo zenit (passaggio al meridiano). Quando a passare in meridiano è il Sole è mezzogiorno. Quando un astro raggiunge la massima altezza sul meridiano si dice che è alla **culminazione**. Per la precisione quando il centro del disco del Sole taglia il meridiano superiore è MEZZOGIORNO, quando taglia il meridiano inferiore è MEZZANOTTE.



Tale angolo è detto **obliquità dell'eclittica**.

Con l'altezza varia anche la quantità di radiazione solare che, nell'unità di tempo, viene ricevuta dalla Terra, determinando quello che si chiama il ciclo stagionale. Ma il ciclo stagionale non è rigorosamente periodico, ma statistico, per cui la misurazione dell'anno facendo riferimento a questo alternarsi non è accettabile.

È invece molto più accettabile identificare l'anno mediante la misura della posizione del Sole rispetto a riferimenti fissi celesti o terrestri.

A tal fine, rispecchiando quelle che sono le apparenze, si immaginano tutti gli astri collocati su una sfera centrata sull'osservatore e di raggio infinito: la **sfera celeste**.

Tale sfera è divisa in due emisferi dall'orizzonte. L'asse di rotazione della Terra la incontra nel **poli celesti** P<sub>N</sub> e P<sub>S</sub> ed il piano dell'equatore la interseca lungo un cerchio che è l'**equatore celeste** la cui inclinazione sull'orizzonte è uguale al complemento della latitudine dell'osservatore.

Per l'Italia, tale complemento va da circa  $53^\circ$  di Siracusa (lat.  $37^\circ$ ) a circa  $43^\circ$  del Brennero (lat.  $47^\circ$ ).

Le stelle appaiono fisse sulla sfera celeste e ruotano con questa.

Il Sole, oltre al moto apparente diurno che lo fa sorgere e tramontare, nel corso dell'anno si sposta lentamente rispetto alle stelle fisse. Ma in conseguenza del moto orbitale della Terra, a noi che ci riteniamo immobili, appare come in movimento lungo un cerchio massimo detto **eclittica**, compiendo un giro completo in un anno, e quindi spostandosi di circa **1 grado al giorno**.

Le due intersezioni sono indicate con i simboli dell'Ariete (equinozio di primavera) e della Bilancia (equinozio d'autunno). S<sub>I</sub> e S<sub>E</sub> sono rispettivamente i punti dei solstizi di inverno ed estate, che si trovano a  $90^\circ$  dai punti equinoziali.

L'arco descritto dal Sole lungo l'eclittica, misurato dal punto di Ariete (gamma) è detto **longitudine** del Sole. In figura la longitudine è di circa  $45^\circ$  quindi rappresenta il mese di maggio.

**ECLITTICA:** intersezione del piano dell'orbita della Terra con la sfera celeste e fa un angolo di  $23^\circ 26'$  (inclinazione asse terrestre) con l'equatore celeste.

I due punti d'intersezione dell'eclittica con l'equatore sono detti **punti equinoziali**.

Nella figura il Sole ha una longitudine di circa  $45^\circ$ . Quindi rappresenta la situazione attorno ai primi di maggio.

Il punto  $S_E$  dove il Sole raggiunge la massima distanza dall'equatore, a nord, è detto solstizio d'estate; il punto  $S_I$  di massima distanza a sud è detto solstizio d'inverno. Questi punti si trovano a  $90^\circ$  dagli equinozi e distano dall'equatore rispettivamente  $+23^\circ 26'$  e  $-23^\circ 26'$ . Questa distanza massima è uguale all'obliquità dell'eclittica. Per la latitudine media dell'Italia ( $+43^\circ$ ), all'epoca del solstizio d'estate raggiunge  $70^\circ 26'$ , all'epoca del solstizio d'inverno è invece solo  $23^\circ 34'$ .

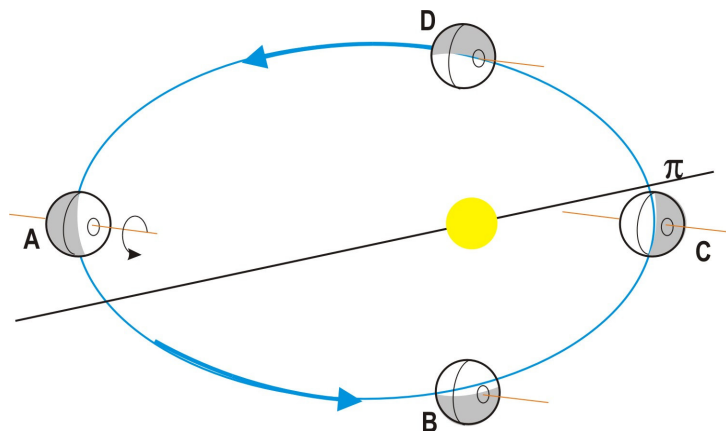
**ANNO TROPICO:** tempo intercorrente fra due passaggi consecutivi del Sole all'equinozio di primavera, o punto d'Ariete, è detto anno tropico.

**LONGITUDINE (CELESTE) SOLARE:** distanza angolare del Sole dal punto d'Ariete e viene misurata lungo l'eclittica. All'equinozio di primavera il Sole ha longitudine  $0^\circ$  - Al solstizio d'estate  $90^\circ$  - All'equinozio di autunno  $180^\circ$  - Al solstizio d'inverno  $270^\circ$

**SOLSTIZIO** (sol stat) così denominato perché è il momento in cui il Sole sembra fermarsi ed invertire quindi la direzione della sua escursione al di sopra e al di sotto dell'equatore.

Per misurare il momento del solstizio d'estate si può usare un'asta verticale infissa al suolo: nel momento in cui l'ombra raggiunge la minima lunghezza sul terreno il Sole appare a noi dell'emisfero boreale alla massima distanza nord dall'equatore celeste. Nei giorni successivi l'ombra si allunga progressivamente e, dopo aver raggiunto il massimo all'epoca del solstizio d'inverno, torna ad accorciarsi.

La determinazione risulta più precisa se si osserva l'istante nel quale il Sole taglia l'equatore celeste. E' però necessario conoscere esattamente la posizione dell'equatore celeste. Questa misurazione richiede di appositi strumenti di piccola potenza ma di grande precisione: **i cerchi meridiani**.



### L'orbita della Terra ed il ciclo stagionale

La lettera  $\pi$  indica la posizione del perielio attraverso il quale la Terra passa poco dopo il solstizio d'inverno.

Sono rappresentati :

- la Terra nelle posizioni equinoziali e solstiziali
- l'asse maggiore dell'ellisse orbitale che congiunge il punto di minima distanza dal Sole (perielio) e quello di massima distanza (afelio).

**Posizione A:** l'asse di rotazione della Terra, la cui direzione rimane fissa, è complanare con la congiungente Terra-Sole, con il polo nord volto

verso il Sole nella massima inclinazione ( $23^\circ 26'$ ) *Solstizio d'estate*. Il Sole si trova a perpendicolo sul parallelo terrestre a nord dell'equatore e distante da questi  $23^\circ 26'$ , noto come *Tropico del Cancro*. L'ombra lambisce il parallelo di latitudine nord  $63^\circ 34'$  che è il *cerchio polare artico*.

**Posizione B:** circa 3 mesi più tardi, dopo che la Terra ha compiuto un quarto di giro orbitale si trova nella posizione B, l'asse, che è rimasto in posizione immutata rispetto alle stelle, giace in un piano perpendicolare alla congiungente Terra - Sole ed entrambi i poli sono a  $90^\circ$  rispetto al Sole, che appare all'equatore celeste. *Equinozio d'autunno*. Il Sole di mezzogiorno arriva a perpendicolo sull'equatore terrestre e la notte dura quanto il giorno per tutte le località della Terra.

**Posizione C:** dopo 6 mesi circa, compiuto mezzo giro orbitale, l'asse torna a giacere nello piano della posizione A ma con il polo nord volto in direzione esterna. *Solstizio d'inverno*. Il Sole appare alla massima distanza sud dall'equatore. Il Sole si trova a perpendicolo sul parallelo terrestre a sud dall'equatore e distante da questi  $23^\circ 26'$ , noto come *Tropico del Capricorno*. L'ombra lambisce il parallelo di latitudine sud  $63^\circ 34'$  che è il *cerchio polare antartico*.

**Posizione D:** trascorsi nove mesi si ha una situazione analoga alla B con il Sole nuovamente all'equatore che sta salendo verso nord. *Equinozio di primavera*. Il Sole di mezzogiorno arriva a perpendicolo sull'equatore terrestre e la notte dura quanto il giorno per tutte le località della Terra.

Per l'emisfero nord all'arco da A a B corrisponde l'estate, da B a C l'autunno, da C a D l'inverno, da D a A la primavera.

Il ciclo con riguardo alla posizione del Sole rispetto ai riferimenti celesti:

- Il giro lungo l'eclittica viene compiuto avanzando di circa  $1^\circ$  al giorno (un po' più rapidamente nei mesi invernali quando la Terra è in prossimità del perielio), un po' più lentamente nei mesi estivi. Nelle posizioni equinoziali appare esattamente all'equatore (posizioni  $\gamma$  e  $\Omega$ ).
- Mentre la Terra segue il tratto di orbita da D (equinozio di primavera) verso A, il Sole appare allontanarsi sempre più dall'equatore, salendo verso nord, finché raggiunge la massima distanza angolare ( $23^\circ 26'$ ) in corrispondenza della posizione A (solstizio d'estate).

- Quindi ricomincia la discesa verso l'equatore per tagliarlo quando la Terra è in B (equinozio di autunno), raggiungendo la massima distanza a 23° 26' a sud, quando la Terra è in C.
- Da qui comincia a riavvicinarsi all'equatore per tagliarlo – dopo un anno – quando la Terra si trova nuovamente in D.

**ANNO TROPICO:** il tempo intercorrente fra due passaggi consecutivi della Terra per la stessa posizione equinoziale. La definizione si riferisce a due passaggi del Sole allo stesso equinozio: infatti il moto del Sole lungo l'eclittica non è altro che l'aspetto speculare del moto di rivoluzione della Terra.

L'anno tropico è lievemente più breve del tempo occorrente alla terra per compiere un giro completo attorno al Sole e vale circa **365 giorni 5 ore e 49 minuti**.

Questa leggera differenza di giorno ha creato il millenario problema della durata dell'anno e ciò perché l'anno di calendario deve necessariamente annoverare un numero intero di giorni. Per tenere conto di questa frazione e fare in modo che nel corso dei millenni anno tropico e calendario restino mediamente in fase si è ricorso alle più svariate soluzioni. Attualmente l'allineamento avviene applicando la regola dell'alternanza tra anni **comuni** di 365 giorni e **bisestili** di 366 giorni.

Le stagioni non hanno uguale durata, benché i quattro archi di eclittica abbiano uguale ampiezza (90°), in quanto i tempi impiegati a percorrerli sono diversi.

Attualmente la Terra passa al perielio (o in termini geocentrici il Sole passa al perigeo) ai primi di gennaio, poco dopo il solstizio d'inverno. La velocità orbitale è massima e l'arco corrispondente all'inverno (boreale) viene percorso più rapidamente degli altri.

L'estate, il cui arco contiene l'afelio (Sole all'apogeo) è la stagione più lunga. All'epoca 2000 la primavera dura 92,76 giorni, l'estate 93,65, l'autunno 89,84, l'inverno 88,99.

Poiché l'anno civile comune con i suoi 365 giorni è di 5<sup>h</sup> 49<sup>m</sup> più corto dell'anno tropico per solo questo fatto ogni anno l'inizio delle stagioni ritarda di circa altrettanto sul calendario ed in capo a 4 anni il ritardo ammonta a quasi un giorno. Per evitare questo sfasamento ogni 4 anni si introduce l'anno bisestile di 366 giorni.

In sintesi, durante l'anno tropico 365,25 giorni e dovendo il calendario contenere un numero intero di giorni, il quarto giorno mancante viene recuperato con un giorno in più ogni 4 anni. Tuttavia questa rimessa in fase non è perfetta perché in 4 anni l'anticipo ammonta a circa 23<sup>h</sup> 15<sup>m</sup>. L'eccesso di 45 minuti nella correzione viene sanato con la soppressione di 3 giorni bisestili ogni 400 anni.

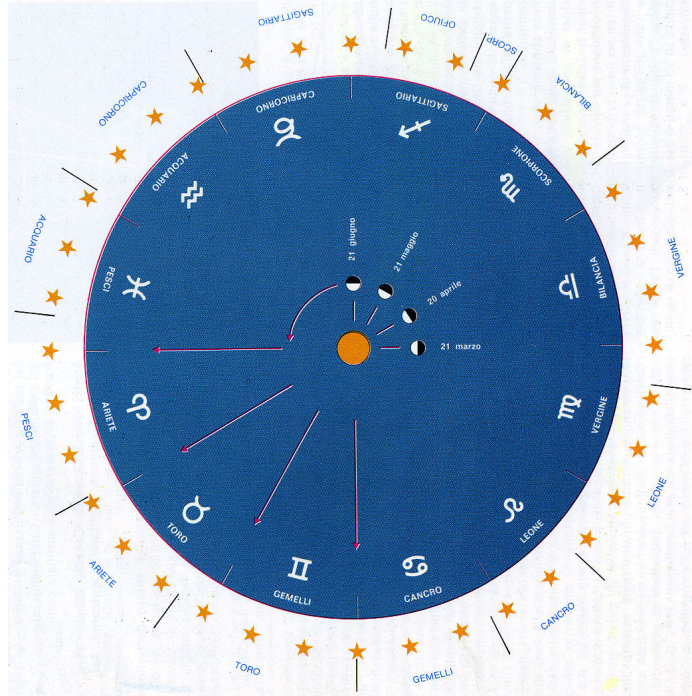
Siccome il **perielio non è fisso** ma si sposta lentamente rispetto ai punti equinoziali, si ha una progressiva lenta variazione della durata delle stagioni: attualmente la primavera si accorcia di **1<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> per secolo** e l'inverno di **58<sup>m</sup>** mentre l'estate si allunga di **58<sup>m</sup>** e l'autunno di **1<sup>h</sup> 40<sup>m</sup>**.

Inoltre, le perturbazioni gravitazionali operate dagli altri pianeti causano piccolissime deviazioni del moto orbitale terrestre dalla pura kepleriana e ciò comporta nella durata dell'anno tropico un lento accrescimento che attualmente ammonta a **0,5 secondi** per secolo, oltre ad altre piccole oscillazioni.

**NUTAZIONE:** piccola oscillazione periodica dell'asse terrestre di rotazione, che si sovrappone al lento moto di precessione, e che fa anticipare o ritardare l'equinozio sino a 3 minuti, secondo un periodo di 18,6 anni.

Complessivamente la lunghezza dell'anno solare subisce varie oscillazioni, secondo cicli semiregolari che possono raggiungere una decina di minuti in più o in meno.

Mediando però la lunghezza dell'anno su periodi di alcune centinaia di anni questi rimane costante sul valore di **365,24220 giorni**.



Nel cielo stellato le stelle, per le loro enormi distanze, appaiono immobili le une rispetto alle altre per cui può fornire lo sfondo di riferimento sul quale stabilire la direzione in cui il Sole ci appare.

Il moto apparente del Sole si definisce misurandone la longitudine. Il cielo stellato, ai soli fini di nomenclatura, è stato suddiviso in regioni contigue dette **costellazioni**.

Il Sole, seguendo l'eclittica nel corso del suo giro apparente attraversa tradizionalmente 12 costellazioni, da qui la definizione del cerchio eclitticale come **cerchio dello zodiaco** o **cerchio zodiacale**, e le costellazioni attraversate sono dette **costellazioni zodiacali**. Si dice **zodiaco** la fascia di 18° di larghezza centrata sul cerchio zodiacale.

Oltre al Sole che sta sempre sull'eclittica, tutti i pianeti e la Luna nel loro andirivieni a cavallo dell'eclittica non escono mai dalla fascia zodiacale. Fa eccezione Plutone, che seguendo un'orbita fortemente inclinata sull'eclittica, arriva ad uscire

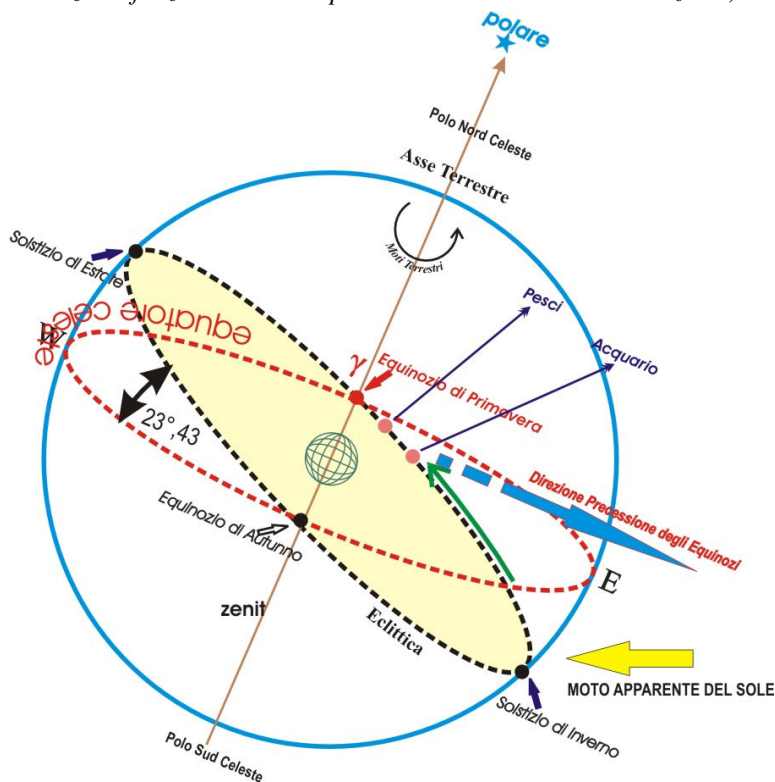
ampiamente dallo zodiaco. Nell'antichità l'eclittica era stata suddivisa in dodici parti uguali (ciascuno coprendo una fascia di 30°) detti *segni*. L'inizio di ciascun segno veniva a trovarsi in una costellazione e il segno portava il nome di questa costellazione. Il primo segno zodiacale è quello dell'Ariete, ed il punto iniziale è il *punto d'Ariete* che coincide con l'equinozio di primavera: viene indicato con il segno  $\gamma$  (simbolo dell'Ariete), figura tradizionalmente primaverile. Riferimento fondamentale in astronomia. Il segno dell'Ariete si estende da 0 a 30° di longitudine, quello del toro da 30° a 60°. Nel corso di oltre 2000 anni, da quando cioè la fascia zodiacale fu così ripartita, in seguito al fenomeno della PRECESSIONE DEGLI EQUINOZI, i segni si sono spostati rispetto alle costellazioni, indicate esternamente.

Il segno dell'Ariete si trova ora nella costellazione dei PESCI, quello del Toro nella costellazione dell'ARIETE e così via.

| segno                    |            | long. | simbolo     |
|--------------------------|------------|-------|-------------|
| Aries (Arietis)          | Ariete     | 0°    | $\gamma$    |
| Taurus (Tauri)           | Toro       | 30°   | $\tau$      |
| Gemini (Geminorum)       | Gemelli    | 60°   | $\text{II}$ |
| Cancer (Cancri)          | Cancro     | 90°   | $\text{♋}$  |
| Leo (Leonis)             | Leone      | 120°  | $\text{♌}$  |
| Virgo (Virginis)         | Vergine    | 150°  | $\text{♍}$  |
| Libra (Librae)           | Bilancia   | 180°  | $\text{♎}$  |
| Scorpio (Scorpionis)     | Scorpione  | 210°  | $\text{♏}$  |
| Sagittarius (Sagittarii) | Sagittario | 240°  | $\text{♐}$  |
| Capricornus (Capricorni) | Capricorno | 270°  | $\text{♑}$  |
| Aquarius (Aquarii)       | Acquario   | 300°  | $\text{♒}$  |
| Pisces (Piscium)         | Pesci      | 330°  | $\text{♓}$  |

### PRECESSIONE DEGLI EQUINOZI

L'asse di rotazione della Terra mantiene fissa la propria direzione per una legge fondamentale della dinamica: «In assenza di forze esterne che perturbino il moto di una rotazione, l'asse di rotazione di un corpo rotante mantiene immutata la propria direzione». Questa deriva da una legge più generale nota come *principio di conservazione della quantità di moto* o, secondo la terminologia inglese *principio della conservazione del momento angolare*.



La trottola non sta in piedi se non gira. In bicicletta non si può stare fermi senza appoggiare almeno un piede per terra, se si pedala si sta in equilibrio. Se si afferra una ruota di bicicletta per le sue estremità la si può muovere come si vuole, se però si pone in rotazione si percepirà una forte resistenza ad ogni variazione di posizione.

Per fare variare la direzione dell'asse di rotazione di un corpo rotante occorre una forza esterna, tanto più intensa quanto più veloce sarà la rotazione. I proiettili lanciati dalle armi da fuoco (cannoni in particolare) affinché non ribaltino a causa della forza di gravità vengono posti in movimento rotazionale attorno al proprio asse dalla rigatura dell'arma. Questo non era necessario quando venivano sparate palle sferiche.

Pertanto l'affermazione secondo la quale l'asse terrestre mantiene immutata la propria direzione è vera solo in prima approssimazione. La Terra non è isolata nello spazio: ci sono soprattutto il Sole e la Luna che danno origine alle forze esterne che il principio esclude.

E siccome la Terra non è un corpo perfettamente sferico ma schiacciato ai poli l'azione combinata del Sole e della Luna sul rigonfiamento equatoriale fa sì che l'asse di rotazione muti continuamente la propria direzione descrivendo un cono circolare con il vertice al centro della Terra e l'asse coincidente con la perpendicolare al piano orbitale mantenendo quindi immutata la propria inclinazione di 23° 26'.

Il polo nord celeste descrive quindi un cerchio attorno al polo dell'eclittica e tale moto si definisce *precessione*.

Tipico esempio di questo movimento è la trottola che gira: l'asse ruota attorno alla verticale assai più lentamente seguendo la superficie di un cono. In questo caso la forza perturbante è il peso che agisce sul rigonfiamento tipico della trottola.

Il moto di precessione dell'asse terrestre avviene lentamente e compie un giro completo in circa 26.000 anni nei quali il polo nord celeste segue un cerchio situato a  $23^{\circ} 26'$  dal polo dell'eclittica. 13.000 anni fa fungeva da Stella polare Vega che ora si trova appunto ad un cinquantina di gradi dal polo nord e che tornerà ad essere l'indicatrice del polo fra 13.000 anni.

Variando la direzione dell'asse varia anche la giacitura del piano equatoriale e quindi varia la posizione dell'equatore celeste. Ne segue che l'intersezione **fra equatore ed eclittica, che segna l'equinozio di primavera si sposta progressivamente**. Lo spostamento avviene in senso opposto al moto apparente del Sole lungo l'eclittica, perciò ogni anno l'equinozio di primavera viene raggiunto con un certo anticipo rispetto al compimento di un giro completo.

Il tempo che la Terra impiega a compiere un giro completo rispetto alle stelle si dice **anno siderale**, quello che impiega a tornare due volte consecutive allo stesso equinozio si dice **anno tropico** il che è equivalente dire che l'anno tropico è il tempo che il Sole impiega a tornare due volte allo stesso punto equinoziale (solitamente l'equinozio di primavera). Quindi ogni anno gli equinozi anticipano rispetto ad un giro completo apparente del Sole da qui il termine: **precessione degli equinozi**.

**Anno anomalistico:** è il tempo intercorrente fra due passaggi consecutivi della Terra al Perielio. Siccome l'asse maggiore dell'ellisse orbitale ruota lentamente ( $1/100.000$  di grado l'anno) nello stesso senso del moto orbitale la Terra per tornare al perielio impiega un po' più di un anno siderale e precisamente **4 minuti e 44 secondi** in più.

Il ciclo stagionale si compie con ritorno del Sole all'equinozio di primavera e deve necessariamente essere uguale all'anno **tropico** e non a quello **siderale**. Pertanto ogni calendario solare deve essere calettato sull'anno tropico.

La differenza è minima: il punto d'Ariete si sposta ogni anno di  $50''$  verso ovest e quindi l'equinozio anticipa di quasi 20 minuti all'anno siderale. La progressiva variazione della durata delle stagioni dipende dal progressivo spostamento dell'equinozio rispetto al perielio cioè dalla differenza tra anno tropico e anno anomalistico. Ogni anno l'equinozio anticipa di circa 25 minuti sul perielio. Insieme con il punto equinoziale di primavera si spostano progressivamente tutti i segni zodiacali:  $50''$  per anno fanno  $30^{\circ}$  in 2160 anni. Pertanto oggi lo zodiaco risulta sfasato di ben oltre un intero segno rispetto ai secoli della civiltà alessandrina, quando prese la forma definitiva l'assetto dei riferimenti celesti. Oggi il punto di Ariete o punto equinoziale di primavera non si trova più nella costellazione dell'Ariete ma in quella dei Pesci. E fra un certo numero di secoli entrerà nella costellazione dell'Acquario. I segni zodiacali sono quindi ben precise suddivisioni dell'eclittica, le costellazioni dono regioni del cielo dai confini del tutto arbitrari che sono stati definiti dall'Unione Astronomica Internazionale nel 1922. Le linee di confine tra le 82 costellazioni sono costituite da archi di parallelo e di meridiano celeste. Dicendo che il punto equinoziale di primavera entrerà nell'Acquario si intende che varcherà il confine tra Pesci ed Acquario e questo confine è l'arco di parallelo celeste  $4^{\circ} 00'$  a sud dell'equatore.