

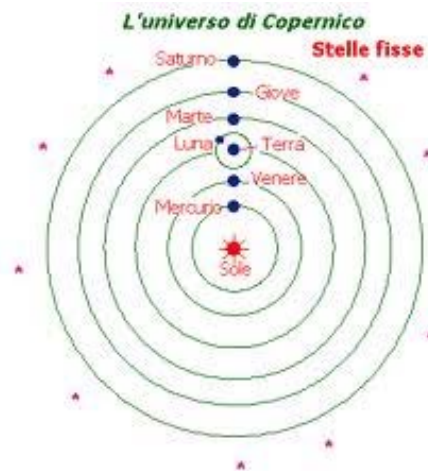
I movimenti della Terra e la misura del tempo (A)



Il sistema eliocentrico (A)



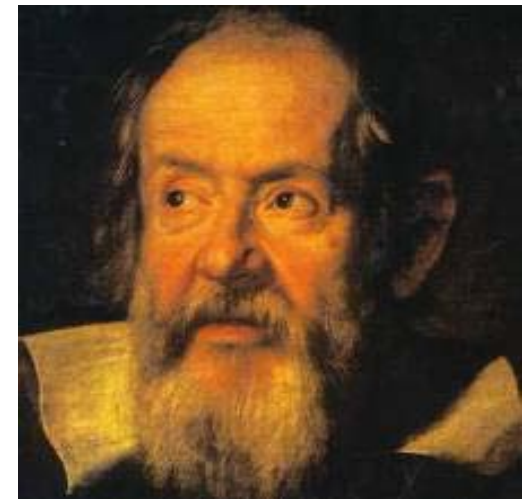
Nicolò Copernico



A differenza del sistema geocentrico, che ammetteva la Terra ferma al centro dell'universo, l'astronomo polacco Copernico (1473-1543) propose un universo nel quale il Sole si trovava al

centro, e tutti gli altri corpi celesti, Terra compresa, ruotavano attorno ad esso (**sistema eliocentrico**).

Con le sue osservazioni astronomiche, G. Galilei (1564-1642) riconobbe la validità del sistema eliocentrico.



Galileo Galilei

Movimenti primari della Terra: rotazione e rivoluzione (A)

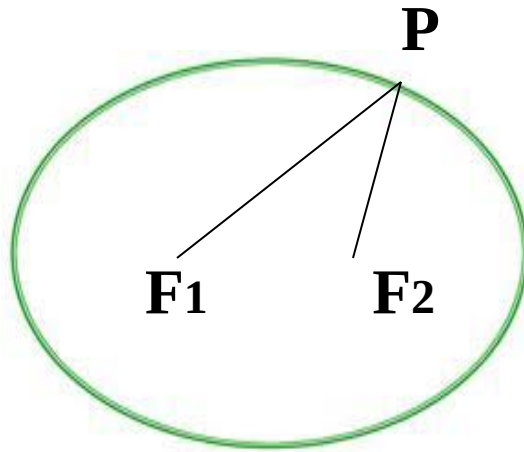
La Terra ruota intorno al proprio asse, con velocità costante. (**moto di rotazione**) Essa compie un giro completo nel tempo di un **giorno**, ruotando da ovest verso est.

L'asse di rotazione incontra la superficie terrestre in due punti detti poli. Ai poli la velocità è nulla, essa risulta massima all'equatore, con 1650 km/h.



Contemporaneamente la Terra ruota anche intorno al Sole (**moto di rivoluzione**), compiendo un giro nel tempo di un **anno**. L'orbita della Terra si chiama **eclittica**.

L'orbita della Terra (B)



$$PF_1 + PF_2 = \text{costante}$$

In ogni punto di un'ellisse è costante la somma delle sue distanze da due punti detti **fuochi** (F1 ed F2).

L'eclittica ha la forma di una ellisse, con il Sole situato in uno dei fuochi. Questa legge fu scoperta da J. Keplero (1571-1630), astronomo tedesco.

La Terra ha una distanza minima dal Sole al **perielio** (3 gennaio), con 147 milioni di km, massima all'**afelio** (3 luglio) con una distanza di 152 milioni di km

La velocità di rivoluzione della Terra (B)

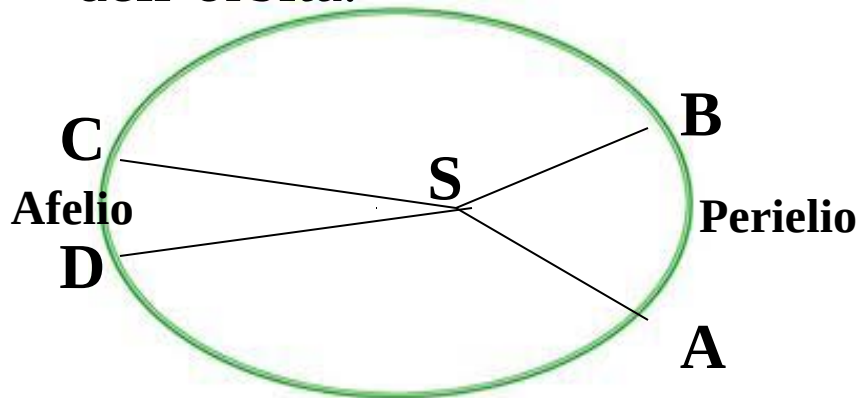
La velocità della Terra nel suo moto intorno al Sole non è costante, ma massima al perielio (30,29 km/s) e minima all'afelio (29,29 km/s).



Giovanni Keplero

Anche questa legge venne determinata da Keplero (II Legge). Essa afferma che:

“Le aree percorse dal segmento congiungente il Sole (S) al pianeta sono proporzionali ai tempi impiegati a percorrere i rispettivi tratti dell'orbita.”



In pratica, se i due settori hanno la stessa superficie, la Terra impiega lo stesso tempo per percorrere AB e CD. Quindi in AB (perielio) la Terra è più veloce.

Prove della rotazione: il pendolo di Foucault (C)



Nel Pantheon di Parigi: il pendolo di Foucault

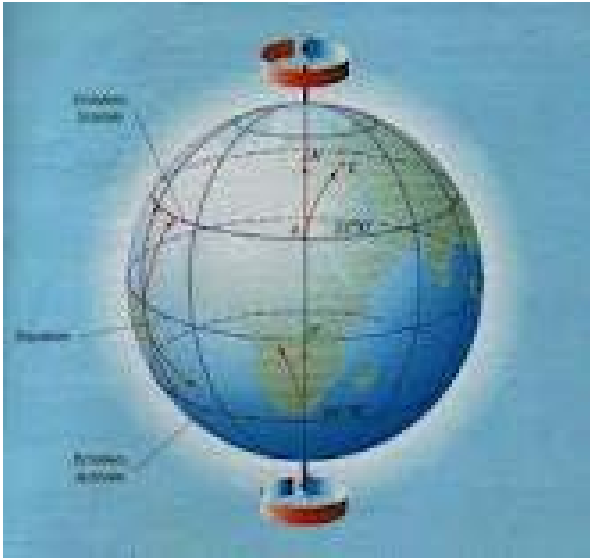
Siccome i pendoli oscillano sempre sullo stesso piano, bisognava ammettere che la Terra fosse ruotata sotto il pendolo!

Nel 1851 J.L. Foucault appese sotto la cupola del Pantheon a Parigi un peso di 30 kg a un cavo di 70 metri, mettendolo in oscillazione. Col passare del tempo la punta del pendolo tracciava solchi di direzione diversa sulla sabbia sottostante.



Pendolo didattico: la base ruota ma il pendolo oscilla sempre nello stesso piano.

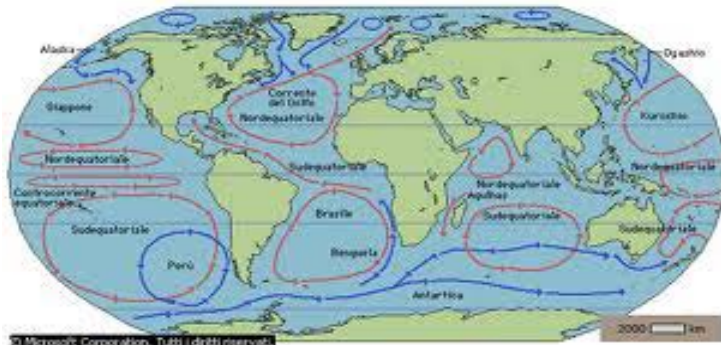
Prove della rotazione: forza di Coriolis (C)



Forza di Coriolis

A causa della rotazione della Terra da ovest verso est un corpo lanciato in direzione di un meridiano viene deviato verso destra nell'emisfero settentrionale, e verso sinistra in quello meridionale.

In generale, tutti gli oggetti lanciati in qualsiasi direzione subiscono l'influenza di questa forza diretta verso est (forza di Coriolis).



Correnti marine

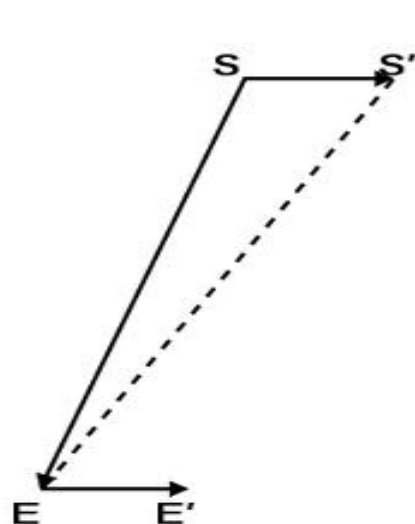
In conseguenza di questa forza le grandi correnti marine e i venti circolano in senso orario nell'emisfero settentrionale e antiorario in quello meridionale

Prove della rivoluzione: aberrazione stellare (C)



Se le gocce della pioggia cadono verticalmente e cominciamo a muoverci in una direzione, abbiamo l'impressione che esse comincino a cadere obliquamente nella direzione opposta rispetto al nostro movimento.

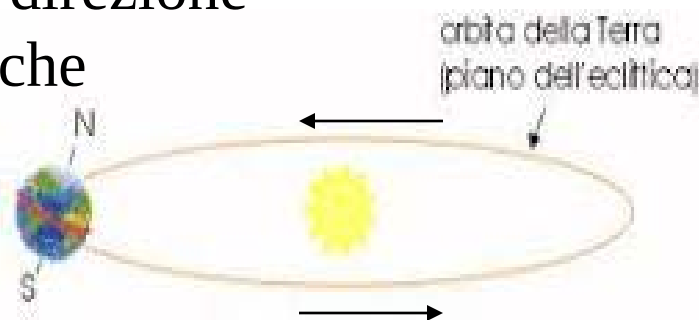
Gli astronomi sanno che per captare col telescopio la luce di una stella devono deviare la direzione del telescopio di un certo angolo SES' (angolo di parallasse). Ma sei mesi dopo (vedi fig. sotto a destra)



la Terra procede in direzione opposta, per cui anche l'angolo di parallasse va deviato in senso opposto.

Ciò dimostra che la Terra

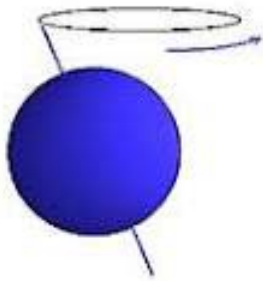
non è ferma, ha un effettivo moto intorno al Sole.





Movimenti secondari della Terra: precessione degli equinozi (B)

L'asse di rotazione della Terra non è rigorosamente parallelo a se stesso, ma devia leggermente ogni anno, fino ad effettuare un giro completo nel corso di 25 800 anni.



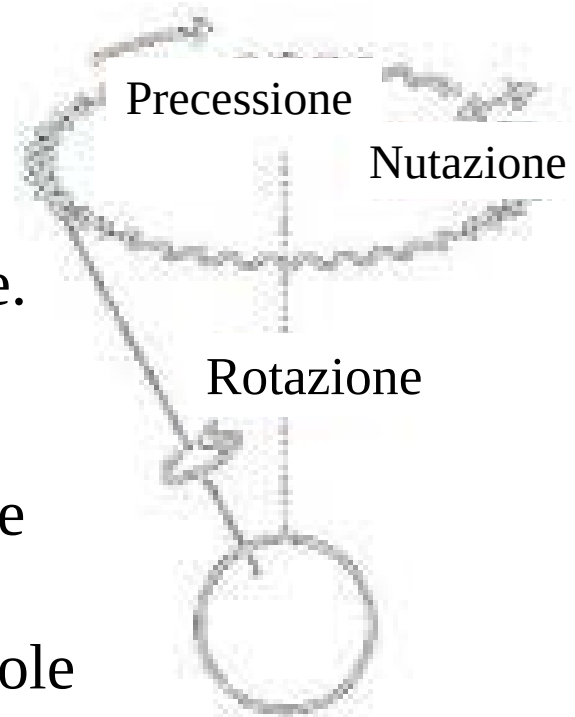
Questo fenomeno dipende dal fatto che la velocità di rotazione della Terra è diminuita nel corso di tempi lunghissimi. Anche l'asse di una trottola oscilla in tal modo, quando questa comincia a rallentare.



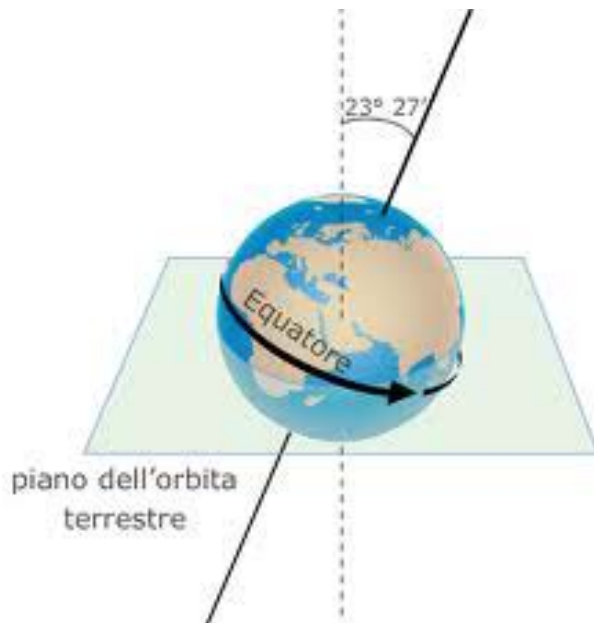
Movimenti secondari della Terra: le nutazioni (C)

La Luna, per quanto piccola, è il corpo celeste più vicino alla Terra. La sua forza attrattiva provoca delle piccole oscillazioni sull'asse terrestre.

Pertanto l'asse non percorre una superficie perfettamente conica, come descritto nella slide precedente (n.9), ma su di essa si instaurano delle piccole ondulazioni, dette **nutazioni**.



Altri movimenti: variazioni dell'obliquità dell'asse (C)

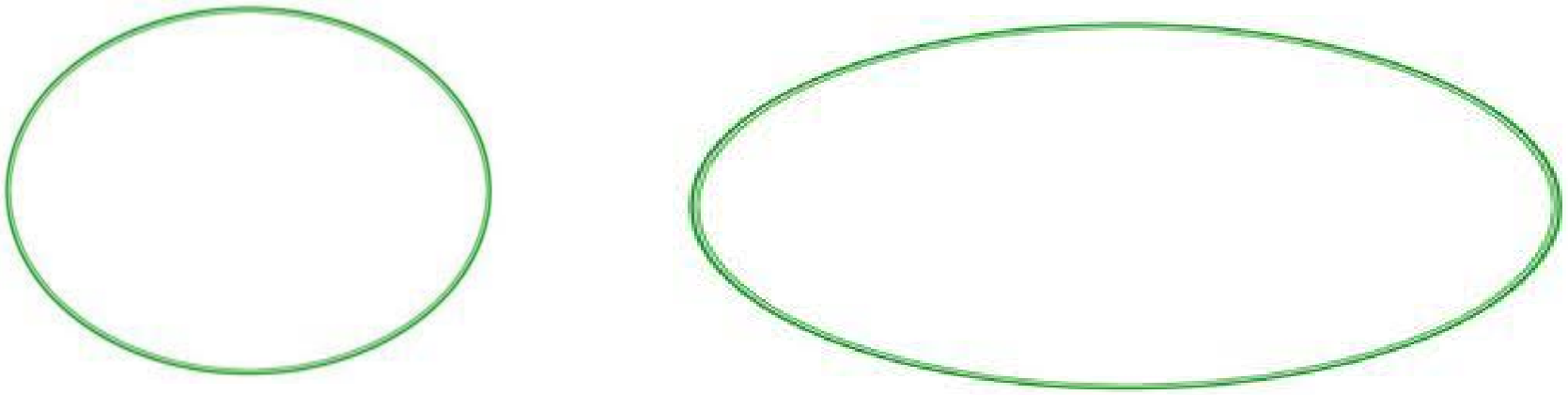


Attualmente l'asse di rotazione della Terra forma un angolo di $23^{\circ} 27'$ con la perpendicolare al piano dell'orbita terrestre.

L'asse oscilla da un angolo minimo di 21° e mezzo a un angolo massimo di 24° nel corso di 41 000 anni.



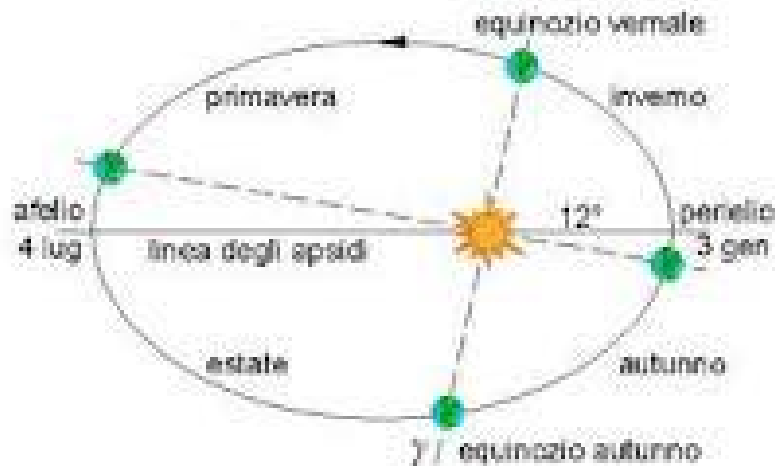
Altri movimenti: variazioni dell'eccentricità dell'orbita (C)



Un altro movimento è la variazione dell'eccentricità dell'elisse che costituisce l'orbita terrestre. In altre parole, l'ellisse può essere più o meno schiacciata nel corso del tempo.

Il periodo di oscillazione dello schiacciamento ha una durata di 96 000 anni.

Altri movimenti: spostamento della linea degli apsidi (C)

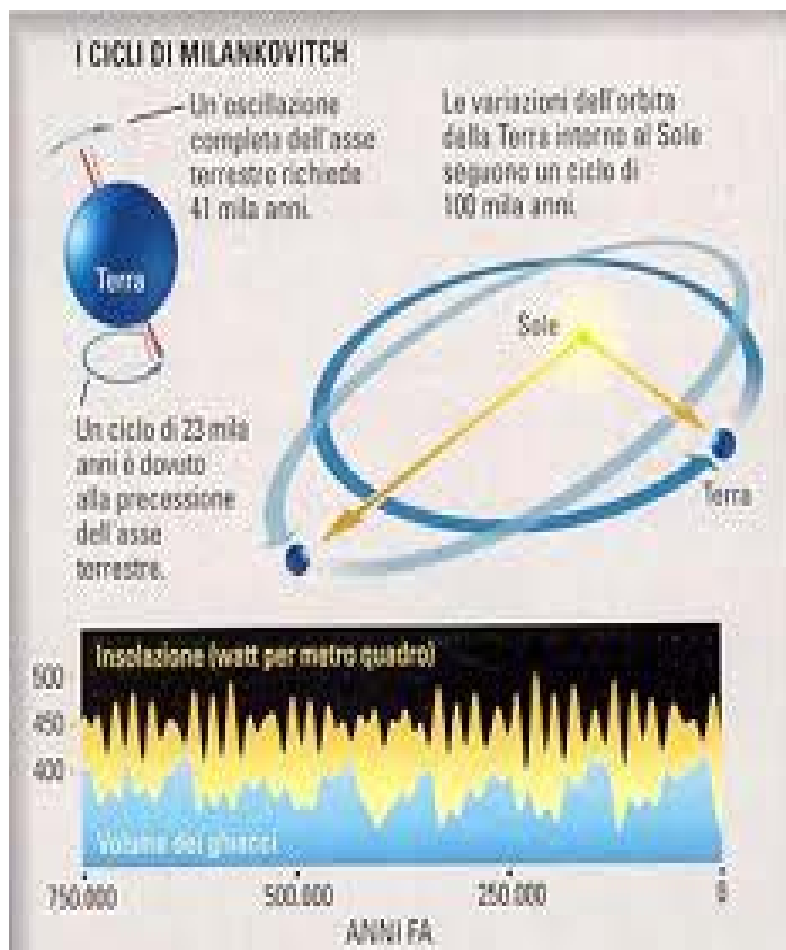


Attualmente il perielio corrisponde al 3 gennaio, l'afelio al 4 luglio.

La linea degli apsidi unisce il perielio all'afelio. Essa ruota in modo tale che le date corrispondenti a questi due punti si spostano lentamente rispetto alla situazione attuale.

Un ciclo completo dello spostamento degli apsidi corrisponde a 21 000 anni.

Movimenti secondari della Terra ed effetti sul suo clima (C)



Curva di Milankovic

I movimenti secondari della Terra possono causare variazioni del suo clima?

Combinando gli effetti dei diversi movimenti, M. Milankovic (1879-1958) ottenne un grafico che indicava notevoli oscillazioni nel riscaldamento della Terra.

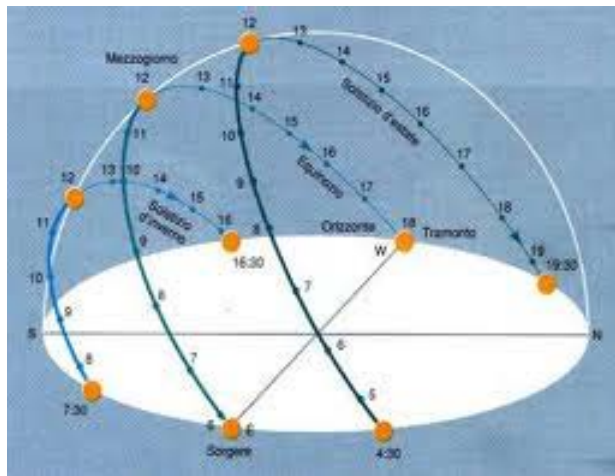
Negli ultimi 750 000 anni, le glaciazioni corrispondevano spesso ai periodi in cui tale grafico prevedeva un minore riscaldamento della Terra da parte del Sole.

Effetti della rotazione terrestre: moto apparente del Sole e alternanza del dì e della notte (A)



A causa della rotazione della Terra noi vediamo che il Sole percorre nel cielo un arco. Sorge ad oriente, culmina a mezzodì (sud), tramonta ad occidente.

Col termine **dì** si indica il periodo del giorno in cui il Sole è sopra l'orizzonte, con **notte** quello in cui è sotto.



L'arco percorso dal Sole varia nei diversi giorni dell'anno. Nell'emisfero settentrionale la massima altezza viene raggiunta il 21 giugno e la minima il 22 dicembre (**solstizi**), nell'emisfero meridionale si ha l'opposto.

Effetti della rotazione terrestre: moto apparente degli astri sulla volta celeste (A)



La Stella Polare

La Stella polare non è la più luminosa o quella “sopra la nostra testa”, ma è la stella sempre immobile nella stessa posizione del cielo, attorno a cui vediamo ruotare tutte le altre stelle.

Ciò è una conseguenza del fatto che la Stella polare si trova in direzione del prolungamento dell’asse di rotazione terrestre verso nord.

Questo è il motivo per cui tracciando la perpendicolare dalla stella polare all’orizzonte individuiamo esattamente il nord.

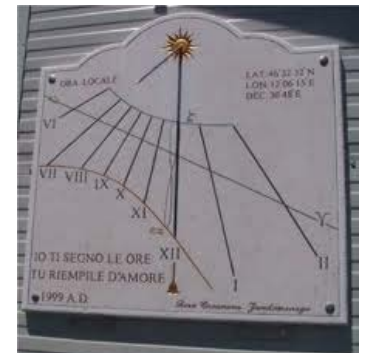
Misure del tempo (A)



Tutti i corpi che procedono con la stessa velocità possono essere utilizzati come strumenti per misurare lo scorrere del tempo. Sono perciò adeguati l'oscillazione del pendolo, le lancette di un orologio, lo scorrere della sabbia dentro una clessidra.



Anche il movimento del Sole (o delle stelle) nel cielo ha tali caratteristiche.



L'arco percorso dal Sole

Una meridiana

Misure del giorno: giorno siderale e giorno solare (B)



Se come punto di riferimento esterno alla Terra consideriamo una stella, sarà passato un giorno quando, nella notte successiva, individueremo la medesima stella nella stessa posizione nel cielo. Questo è il **giorno siderale**, che ha la durata costante di 23 ore e 56 minuti.

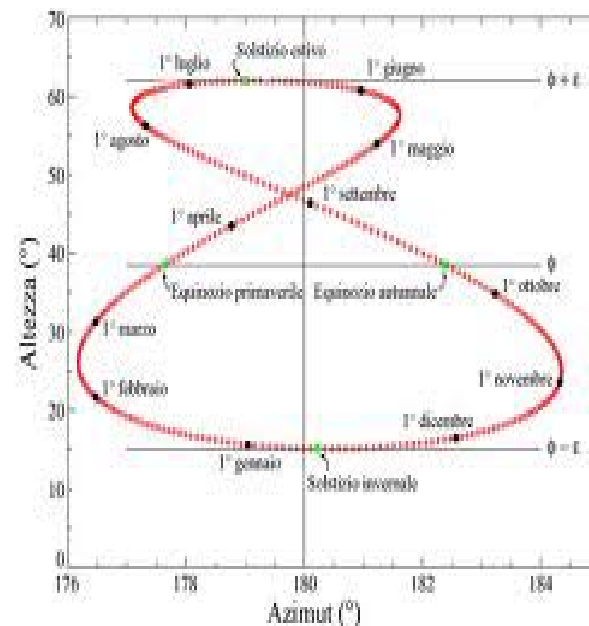
Se prendiamo come punto di riferimento il Sole, ad es. a mezzogiorno, quando culmina nel cielo, sarà trascorso un giorno quando lo rivedremo di nuovo nella stessa posizione. Questo è il **giorno solare**, che dura *in media* 24 ore.

Misure del giorno: l'analemma (C)

Perché la durata del giorno solare non è costante, ma varia durante l'anno? Questa è una conseguenza del fatto che l'orbita della Terra è un'ellisse, percorsa dalla Terra stessa *a velocità variabili*.

L'analemma è un grafico che rappresenta l'equazione del tempo.

N.B.: Per gli scopi pratici, tutti i giorni dell'anno vengono considerati della stessa durata media, che è di 24 ore (*giorno solare*).



Analemma

Uso pratico dell'analemma (C)

L'analemma si può utilizzare per determinare il momento della culminazione effettiva del Sole o la sua altezza massima in qualsiasi giorno dell'anno.

Es.:

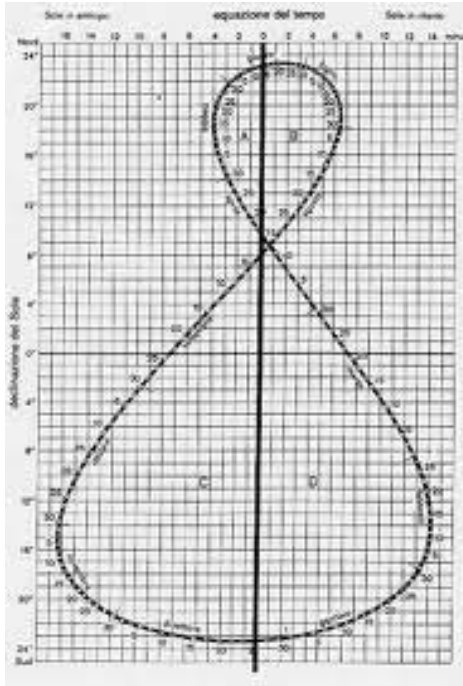
Firenze ha 11° longitudine Est, 44° latitudine N.
Il giorno 15 maggio a che altezza culmina il Sole, ed a che ora?

Dall'analemma risulta il Sole con declinazione a + 19° rispetto all'equinozio, e in anticipo di 4 minuti (- 4 min.). Quindi:

Angolo declinaz. = $90^\circ - \text{lat.} + \text{correz. analemma} = 90^\circ - 44^\circ + 19^\circ = 65^\circ$

Tempo culminazione Sole = 12 h + correz. analemma + correz. meridiano = $12 - 4 + 4 \times 4 = 12.12$

Quindi, a Firenze il sole culmina il 15 maggio alle ore 12 e 12 minuti, ad un'altezza di 65° sull'orizzonte.



Il diverso riscaldamento del Sole I (A)

Il Sole riscalda tanto di più quanto più è alto sull'orizzonte.



Torcia elettrica

Questo può essere compreso con un semplice modello. Proiettate la luce di una torcia perpendicolarmente su un foglio di carta quadrettata: quanti quadretti sono illuminati? Quindi inclinate la torcia, mantenendola alla stessa distanza dal foglio. Ora quanti quadretti sono illuminati? Certamente, un numero maggiore!

Siccome la quantità di luce si trasmette ora su una superficie più ampia, ciascun quadretto viene ora illuminato più debolmente. Lo stesso avviene per il Sole: quando è basso sull'orizzonte, il suo calore viene distribuito su una superficie maggiore: quindi scalda di meno.

Il diverso riscaldamento del Sole II (C)

Il riscaldamento solare aumenta quanto più alto è sopra l'orizzonte.

Tale riscaldamento è dato dalla formula:

$$\text{Riscald.} = Q \cdot \cos \text{SON}$$

dove Q rappresenta la quantità di calore irradiata dal Sole.

Il riscaldamento è massimo quando il Sole è allo zenith, ossia quando l'angolo $\text{SON} = 0^\circ$; è nullo quando il Sole è all'orizzonte, ossia l'angolo $\text{SON} = 90^\circ$.

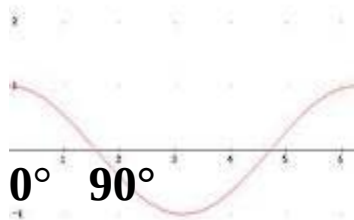
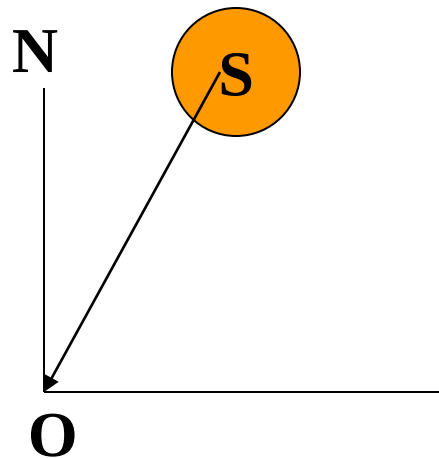
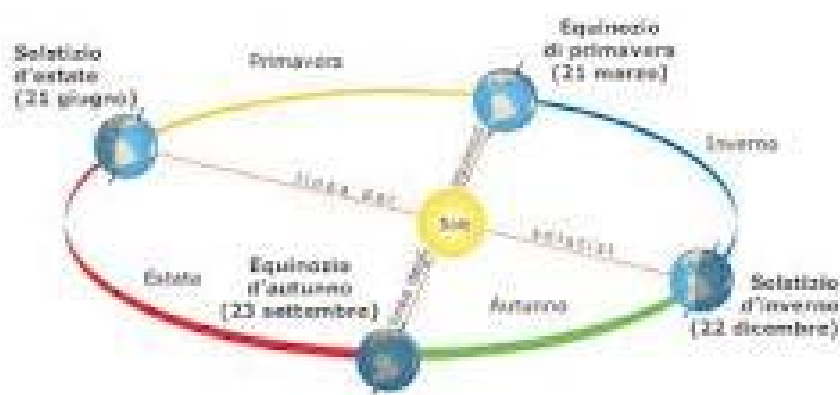


Grafico coseno

Nel primo quadrante (da 0° a 90°) la funzione coseno è sempre decrescente.



Effetti della rivoluzione terrestre: l'alternanza delle stagioni (A)



L'alternarsi delle stagioni deriva dal fatto che l'asse di rotazione non è perpendicolare al piano dell'eclittica.

In prima approssimazione si può ritenere che l'asse si mantenga parallelo a se stesso

durante la rivoluzione della Terra attorno al Sole.

Agli **equinozi** la durata del dì è uguale a quella della notte su tutti i punti della Terra. Ai due **solstizi (d'estate e d'inverno)** il Sole percorre l'arco più alto e quello più basso, e la differenza tra dì e notte risulta massima.

La durata dell'illuminazione ha scarsissima importanza per il riscaldamento: ai Poli il Sole rimane sopra l'orizzonte per 6 mesi consecutivi, con temperature sempre molto basse. Trascurabile è anche la variazione della distanza Sole-Terra: nel nostro emisfero la distanza minima si ha il 3 gennaio, in pieno inverno, e la massima il 3 luglio, in piena estate.



Le quattro stagioni (A)



Primavera



Estate

Nell'emisfero meridionale la sequenza delle stagioni è la seguente: il 22 dicembre comincia l'estate, il 21 marzo l'autunno, il 21 giugno l'inverno e il 23 settembre la primavera.

La primavera comincia all'equinozio del 21 marzo, l'estate al solstizio del 21 giugno, l'autunno all'equinozio del 23 settembre, e l'inverno al solstizio del 22 dicembre (nell'emisfero settentrionale).

Siccome la Terra ruota attorno al Sole con velocità variabile, l'estate dura 93 giorni, e l'inverno 89.

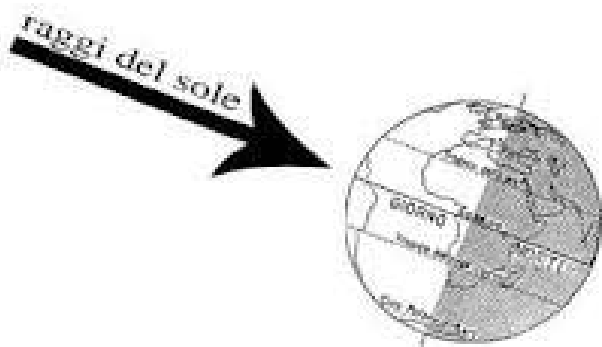


Autunno



Inverno

Effetti della rivoluzione terrestre: l'alternanza delle stagioni II (A)



Equinozio (21/3 e 23/8)

Ai due **equinozi** i raggi del Sole sono perpendicolari all'equatore. La durata del dì è uguale a quella della notte su tutti i punti della Terra.



Solstizio d'estate (21/6)

Al **solstizio d'estate** i raggi del Sole sono perpendicolari al tropico del Cancro. La durata del dì supera quella della notte nell'emisfero settentrionale. Oltre il circolo polare artico il Sole non tramonta. Nell'emisfero meridionale la durata della notte supera quella del dì, oltre il circolo polare antartico è sempre notte.

la durata della notte supera quella del dì, oltre il circolo polare antartico è sempre notte.

Le zone astronomiche della Terra (A)



In base al riscaldamento la Terra può essere suddivisa nelle seguenti zone:

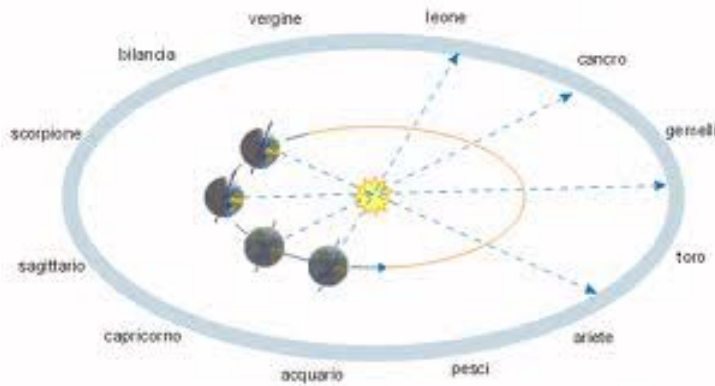
a) **Zona tropicale:** è compresa tra i due tropici. Il Sole culmina sempre molto alto sull'orizzonte, le temperature sono elevate, le differenze di durata tra dì e notte molto limitate, nulle all'equatore. Non vi sono marca-

te differenze stagionali.

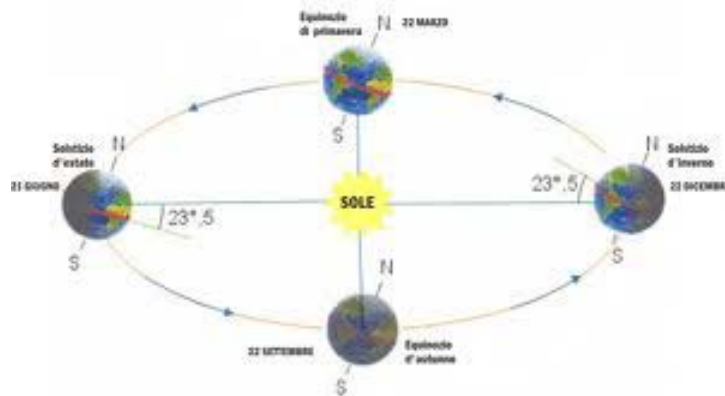
b) **Zone temperate:** comprese tra Tropici e Circoli polari. Grandi differenze di durata tra dì e notte nel corso dell'anno. Temperature intermedie, con notevoli differenze stagionali.

c) **Zone polari:** tra il circolo polare e il polo. Il Sole è sempre molto basso sull'orizzonte, temperature molto fredde. Il Sole non tramonta per almeno un giorno, al polo rimane sopra l'orizzonte per sei mesi.

Misure dell'anno: anno siderale ed anno solare (B)

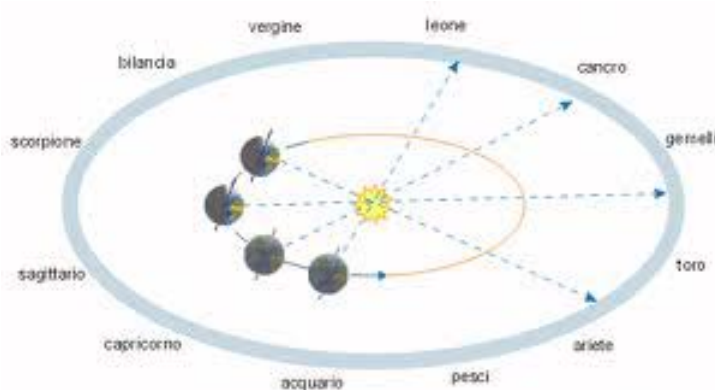


Con riferimento ad una stella, la Terra compie un giro completo attorno al Sole quando si ritrova la stessa stella alla medesima ora nella stessa posizione della volta del cielo. (**Anno siderale**: durata 365 g 6 h 9 m 9 s)



Con riferimento al Sole, la Terra compie un giro completo quando il Sole sarà situato nella stessa posizione del cielo rispetto alle costellazioni dello zodiaco (**Anno solare o anno tropico**).

Effetti della precessione degli equinozi I (B)



Siccome ogni anno vi è una piccola rotazione dell'asse terrestre (vedi slide n. 9), l'equinozio di primavera anticipa di 20 min e 24 sec il momento in cui la Terra

abbia compiuto un giro completo attorno al Sole. L'intervallo tra due successivi equinozi di primavera corrisponde all'**anno solare**, che ha una durata di 365 g 5 h 48 m 46 s.

Agli scopi della vita quotidiana si usa l'anno solare.

A causa della precessione, il Sole sembra “scivolare” da una costellazione all'altra, ogni 2000 anni. A partire dal 2013, esso non avrà più come sfondo per l'equinozio di primavera la costellazione dei Pesci, ma quella dell'Acquario.

Effetti della precessione degli equinozi II (B)

Siccome l'asse di rotazione terrestre non rimane rigorosamente parallelo (vedi slide n. 9), con lo scorrere del tempo esso sarà diretto su punti diversi della volta celeste.

Si calcola, ad esempio, che tra 13 000 anni sarà diretto verso Vega, una delle stelle più luminose.



Le stelle ruotano attorno alla stella Polare

Chi osserverà in quell'epoca il cielo vedrà tutte le stelle del firmamento ruotare attorno a Vega.

I calendari (A)



Un calendario solare

I calendari sono sistemi di suddivisione del tempo in periodi costanti, basati su fenomeni astronomici ciclici.

La tradizione europea usa calendari solari: il periodo fondamentale è l'anno, che corrisponde all'intervallo di tempo tra un equinozio di primavera e quello successivo di uguale nome.

Molti popoli hanno usato, ed usano, calendari lunari: in questo caso il periodo fondamentale corrisponde ad una lunazione, tra una luna nuova e la luna nuova successiva.

Riforme del calendario (A)



Giulio Cesare

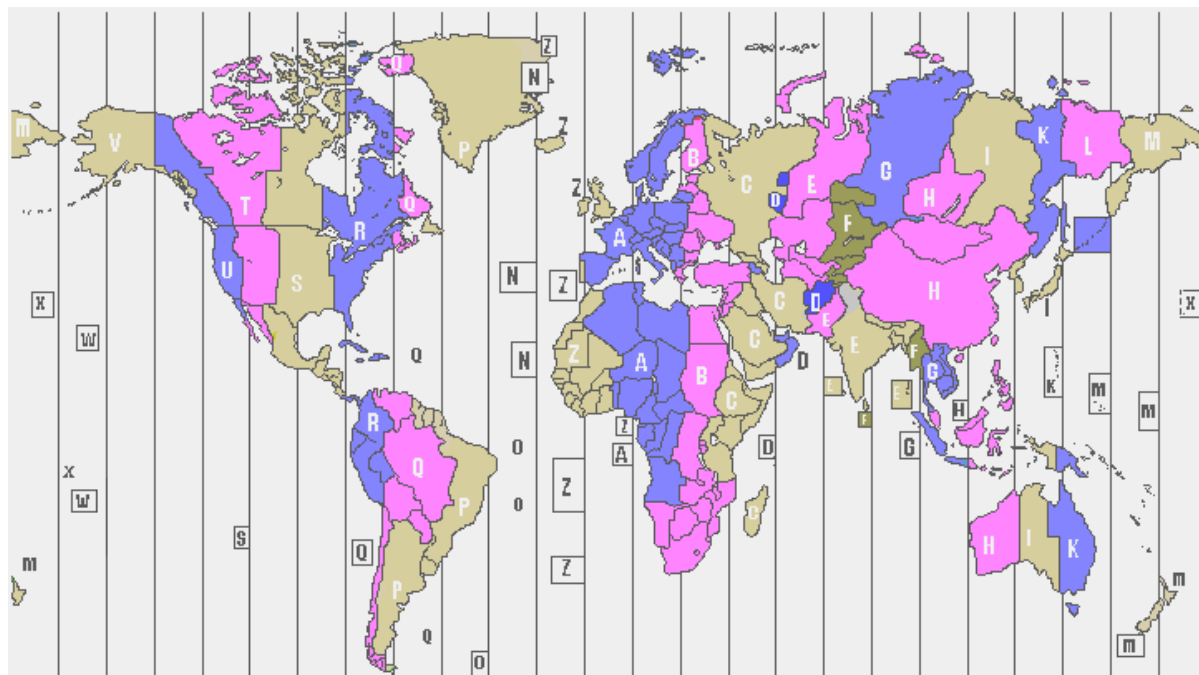
La prima riforma del calendario venne attuata da Giulio Cesare (**calendario giuliano**). Considerando l'anno lungo 365 g 6 h, ad ogni 4 anni venne aggiunto a febbraio un giorno in più (anno bisestile), per pareggiare le 6 ore perse in ciascun anno.

Abbiamo visto che l'anno solare ha in realtà una durata di 365 g 5 h 48 m 46 s. Per ricollegare il calendario all'andamento stagionale, nel 1582 Papa Gregorio XIII sopprime 10 giorni del calendario, eliminando per il futuro 3 anni bisestili ogni 4 secoli. Da allora non sono più bisestili gli anni divisibili per 400. (**riforma gregoriana**)



Papa Gregorio XIII

Fusi orari ed ore convenzionali (A)

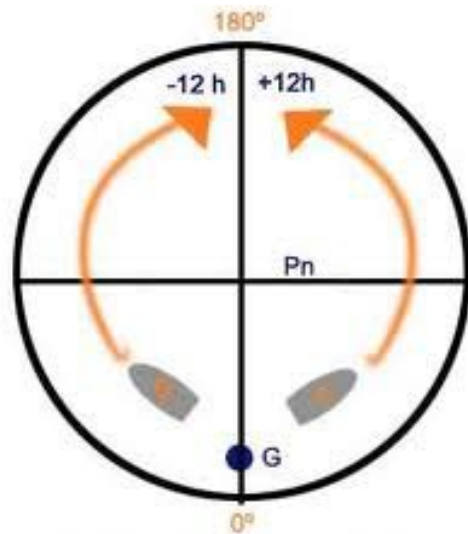


Distribuzione attuale ore locali

Ogni semimeridiano (che va da un polo all'altro) ha una propria ora locale. Per scopi pratici, venne deciso di uniformare l'ora per tutte le località comprese tra due semimeridiani

distanti tra loro 15° (**fusi orari**). Come ora convenzionale, venne considerata quella del semimeridiano intermedio ai due semimeridiani.. Come si vede dalla figura, il sistema dei fusi è stato ulteriormente modificato, in quanto molti Stati hanno fatto coincidere l'ora convenzionale con i propri confini.

La linea del cambiamento di data (B)



G = Greenwich

Se a Greenwich (Londra) è mezzogiorno di domenica, quale sarà la situazione all'antimeridiano, che ha longitudine 180° ?

Se ci dirigiamo verso est, bisognerà aggiungere un'ora per ogni fuso orario, quindi sarà la mezzanotte di domenica, che è finita.. Ma se ci dirigiamo verso ovest, dovremo to-

gliere un'ora per ogni fuso orario, saranno quindi le ore 0 di una domenica che deve appena cominciare!

Per evitare questa incongruenza, è stato stabilito che il meridiano a 180° corrisponda alla **linea del cambiamento di data**. Se viene attraversata da ovest verso est, si porta il calendario di un giorno indietro; se si procede in direzione opposta, di un giorno avanti.