



Terra chiama Luna: stagioni in pericolo

Alessandra Celletti

Dipartimento di Matematica
Università di Roma Tor Vergata
celletti@mat.uniroma2.it

Prologo

*Che fai tu, luna, in ciel? dimmi, che fai,
Silenziosa luna?*

*Sorgí la sera, e vai,
Contemplando i deserti; indi ti posi.*

Ancor non sei tu paga

Di riandare i sempiterni calli?

Ancor non prendi a schivo, ancor sei vaga

Di mirar queste valli?

[...]

*“Canto notturno di un pastore
errante dell’Asia”,
Giacomo Leopardi*

SOMMARIO

1. I numeri della Luna
2. I movimenti della Terra e della Luna
3. La faccia oscura della Luna
4. L'inclinazione dell'asse terrestre
5. La precessione degli equinozi
6. Le stagioni
7. L'obliquità della Terra
8. Con e senza la Luna

I numeri della Luna

- La Luna pesa **1/81** della Terra (1 litro d'acqua versus uomo adulto – Phobos/Marte = 1/60.000.000)
- La Luna dista dalla Terra **384,400 km** (automobili *highlander* Audi A4, Passat, Golf)
- Ci vogliono circa **5 giorni** per arrivare sulla Luna “in folle” (usando la gravità)
- Raggio = **1737 km** (raggio della Terra = 6372 km)
- Il diametro apparente della Luna è quasi identico a quello del Sole  eclissi !

I movimenti della Terra

- La Terra ruota intorno a se stessa in verso antiorario a circa 1500 km/h, **1 giorno**.
- La Terra orbita attorno al Sole alla velocità di 107,870 km/h, **1 anno**.
- Il sistema solare orbita attorno alla Via Lattea a circa 0.5 milioni di km/h.

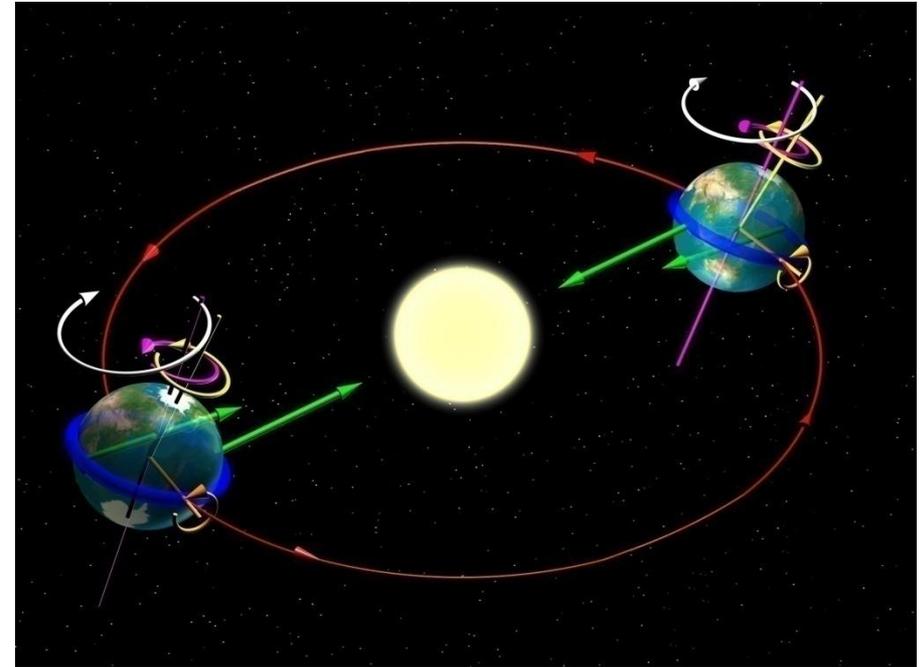


Immagine: Wikipedia

- L'ammasso della Vergine a cui appartiene la nostra galassia si muove a circa 1 milione di km/h verso un punto dello spazio intergalattico noto come il Grande Attrattore.

I movimenti della Luna

- La Luna compie **un'orbita** attorno alla Terra ogni 27 giorni, 7 ore, 43 minuti e 12 secondi e una **rotazione** attorno a se stessa nello stesso tempo.
- Il moto di rotazione e di rivoluzione della Luna sono uguali (***risonanza spin-orbita 1:1 sincrona***).

<https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=4068>

- Dato che il moto di rivoluzione attorno alla Terra non è perfettamente circolare si hanno degli sfasamenti (librazione), che consentono di vedere il 59% della superficie lunare.

La faccia **oscura** della Luna

- **Terra-Luna**: i periodi di rivoluzione e di rotazione della Luna sono uguali e quindi la Luna rivolge sempre la stessa faccia verso la Terra (“*The hidden side of the Moon*”).

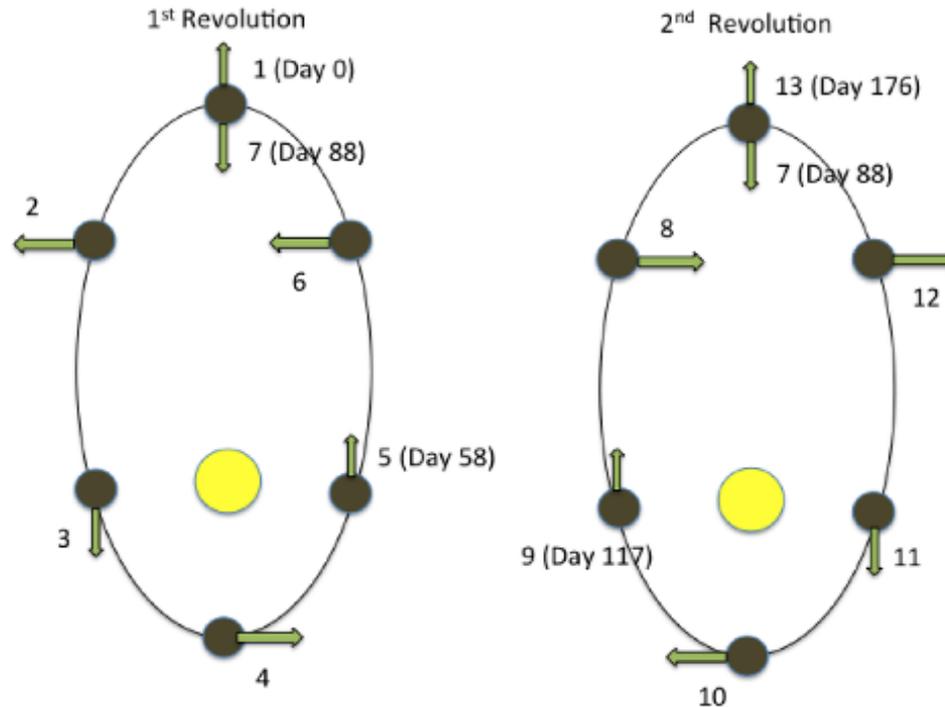
https://www.youtube.com/watch?v=OZIB_leg75Q

Satelliti in risonanza sincrona

Pianeta	Satellite
Terra	Luna
Marte	Phobos, Deimos
Giove	Io, Europa, Ganimede, Callisto, Amaltea
Saturno	Mima, Encelado, Teti, Dione, Rea, Titano, Giapeto, Janus, Epimetheus
Urano	Ariel, Umbriel, Titania, Oberon, Miranda
Nettuno	Tritone, Proteus
Plutone	Caronte

Pianeti in risonanza

- L'unica eccezione a questa "regola" è Mercurio, in risonanza 3:2: durante 2 rivoluzioni attorno al Sole, Mercurio compie 3 rotazioni attorno a se stesso.



3:2 spin-orbit resonance

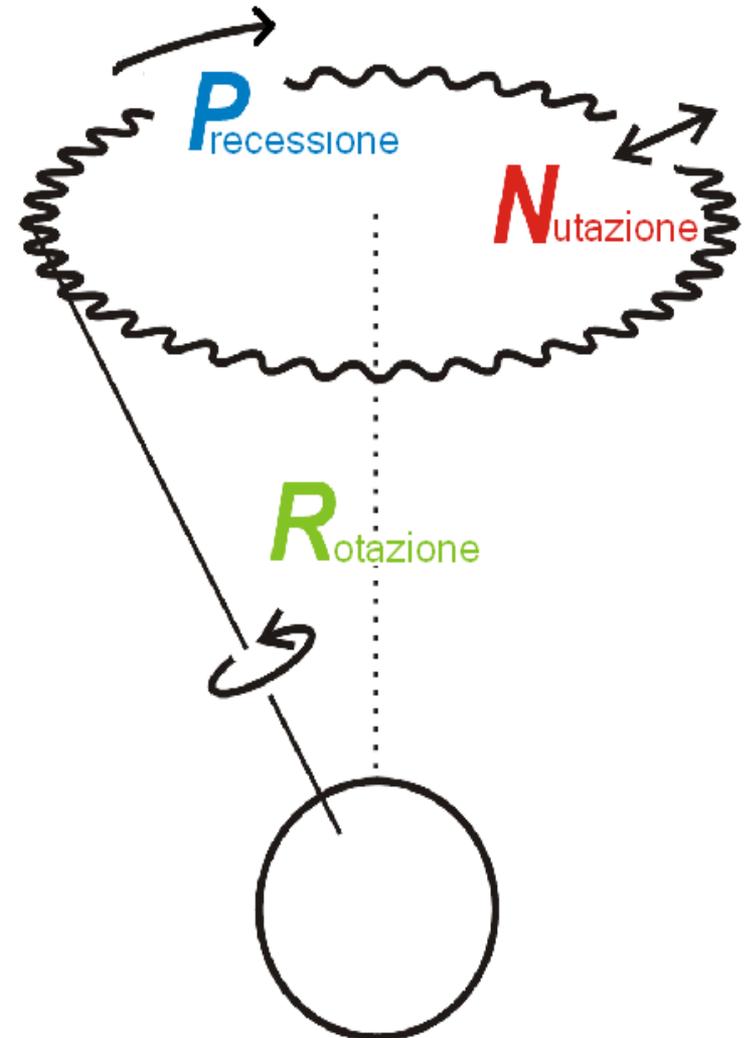
L'inclinazione dell'asse terrestre

- L'asse terrestre è inclinato rispetto alla perpendicolare al piano dell'orbita (eclittica) di $23^{\circ} 27'$ ed è causa delle stagioni.

[https://it.wikipedia.org/wiki/Asse_terrestre#/media/File:Earth%27s_Axis_\(small\).gif](https://it.wikipedia.org/wiki/Asse_terrestre#/media/File:Earth%27s_Axis_(small).gif)

La precessione degli equinozi

- L'inclinazione varia ciclicamente tra $22,5^\circ$ e $24,5^\circ$, con un periodo di 41 000 anni (**nutazione**).
- Secondo la teoria di Milankovitch le variazioni dell'asse terrestre, combinate con quelle dell'orbita (eccentricità, inclinazione, ecc.), sono alla base delle glaciazioni.
- L'asse terrestre descrive un cono (**movimento di precessione**).



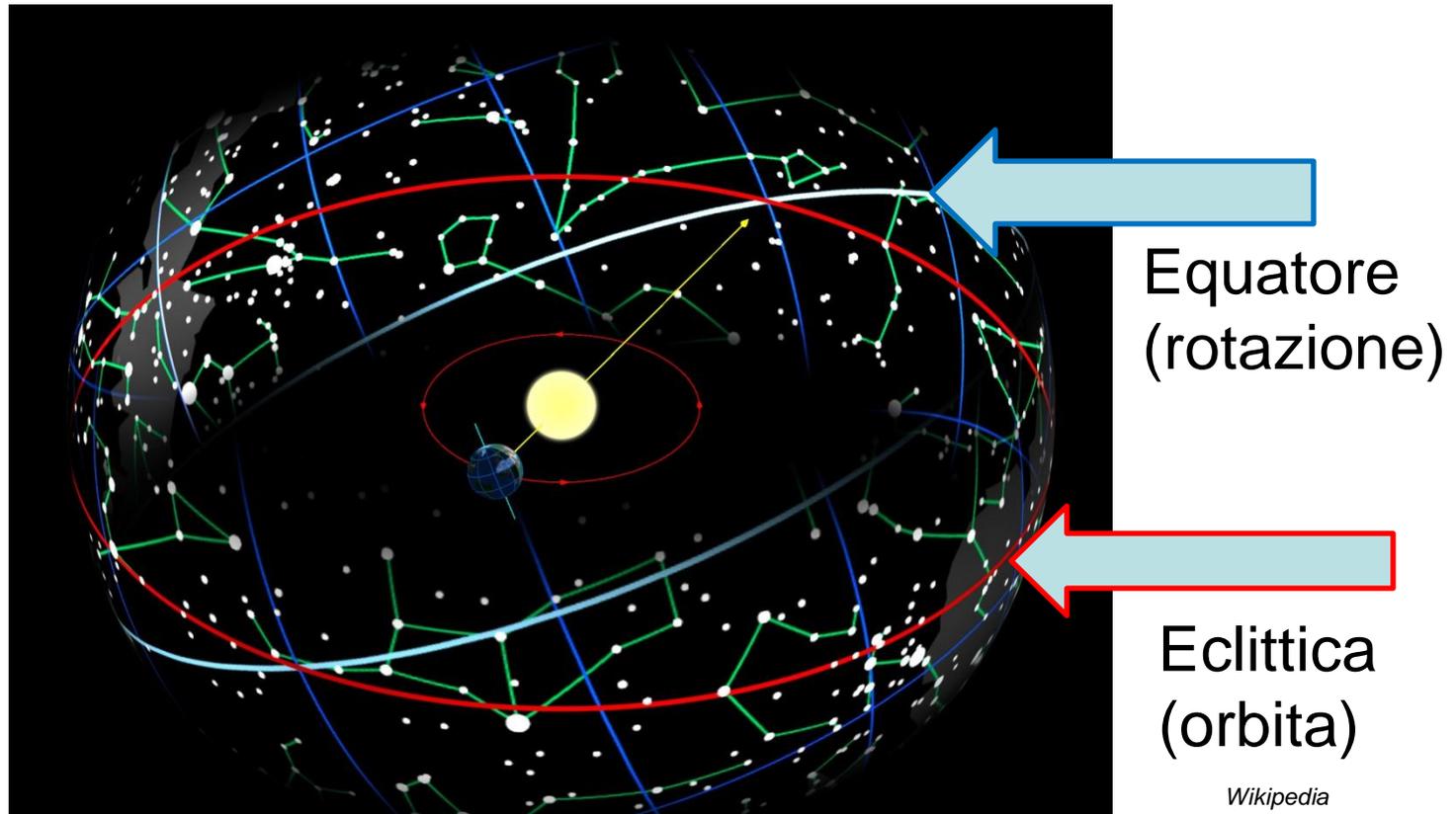
Precessione e segni zodiacali

- L'asse terrestre ruota lentamente intorno alla perpendicolare all'eclittica, descrivendo un cono e compiendo un giro ogni **25 800** anni: **precessione degli equinozi**, dovuta alle maree esercitate da Luna e Sole, nota ad **Ipparco** (120 a.C.).

https://it.wikipedia.org/wiki/Precessione_degli_equinozi#/media/File:Precesi%C3%B3n.gif

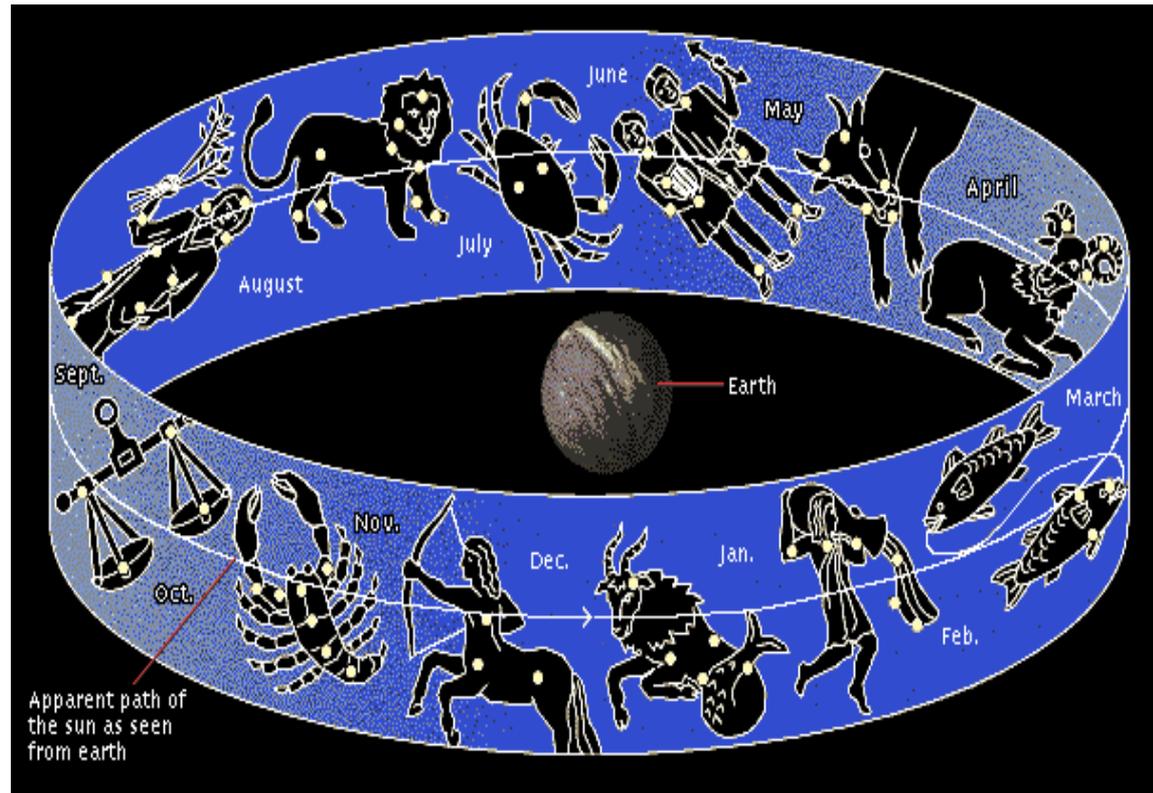
Precessione e segni zodiacali

- Conseguenza: a causa della precessione degli equinozi, i **segni zodiacali sono sfalzati di un mese**: il Sole entra nella costellazione circa un mese più tardi, Ariete è Pesci, Pesci è Acquario, ecc.



Precessione e segni zodiacali

- Conseguenza: a causa della precessione degli equinozi, i **segni zodiacali sono sfalzati di un mese**: il Sole entra nella costellazione circa un mese più tardi, Ariete è Pesci, Pesci è Acquario, ecc.



Le stagioni



Le stagioni

- Le stagioni sono causate dall'inclinazione dell'asse terrestre.

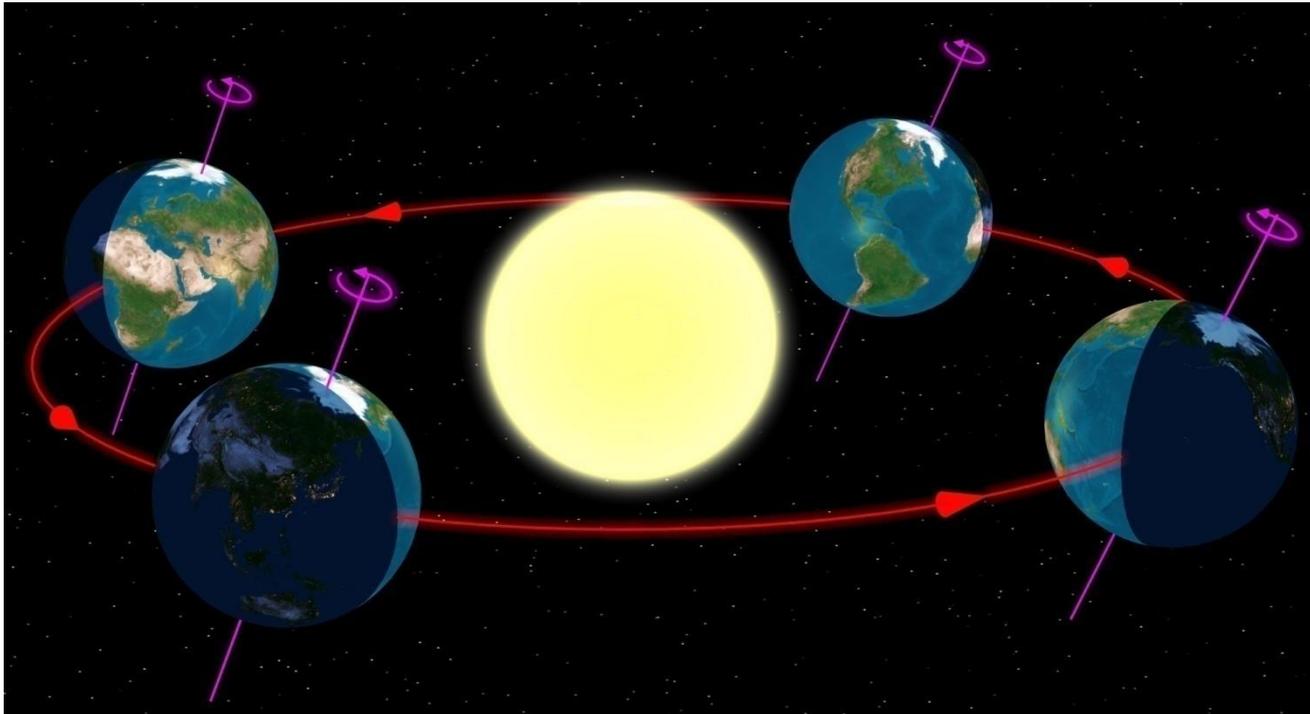
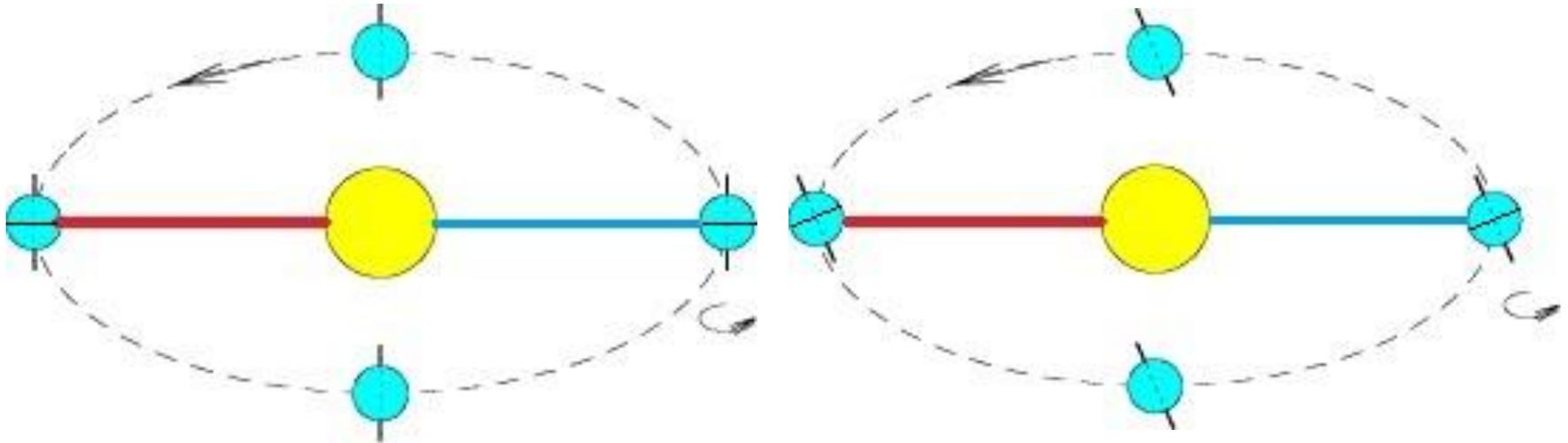


Immagine: Wikipedia

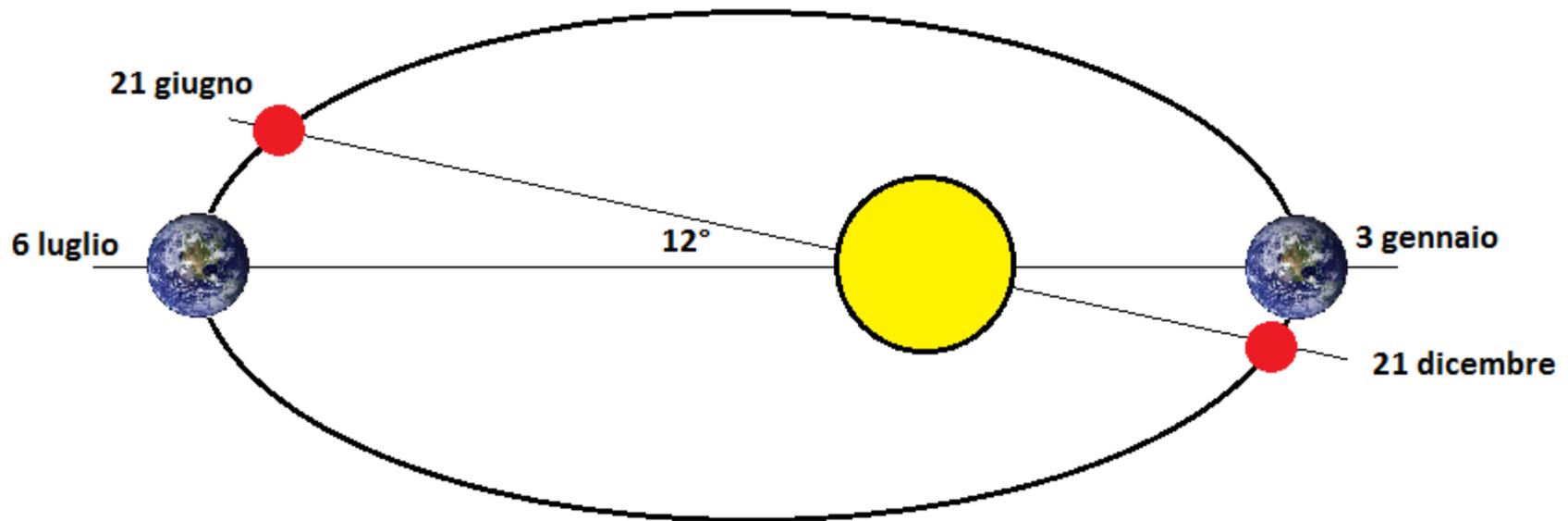
Le stagioni - inclinazione

- Se l'inclinazione è nulla, **no stagioni**: esposizione a calore e luce costante tutto l'anno. Il clima sarebbe determinato dalla latitudine e non dal periodo dell'anno.



Le stagioni - eccentricità

- L'orbita della Terra è ellittica ($e=0.017$) e quindi cambia la quantità di calore tra perielio (3 Gennaio) e afelio con una variazione del 6.8% della radiazione solare.



Le stagioni

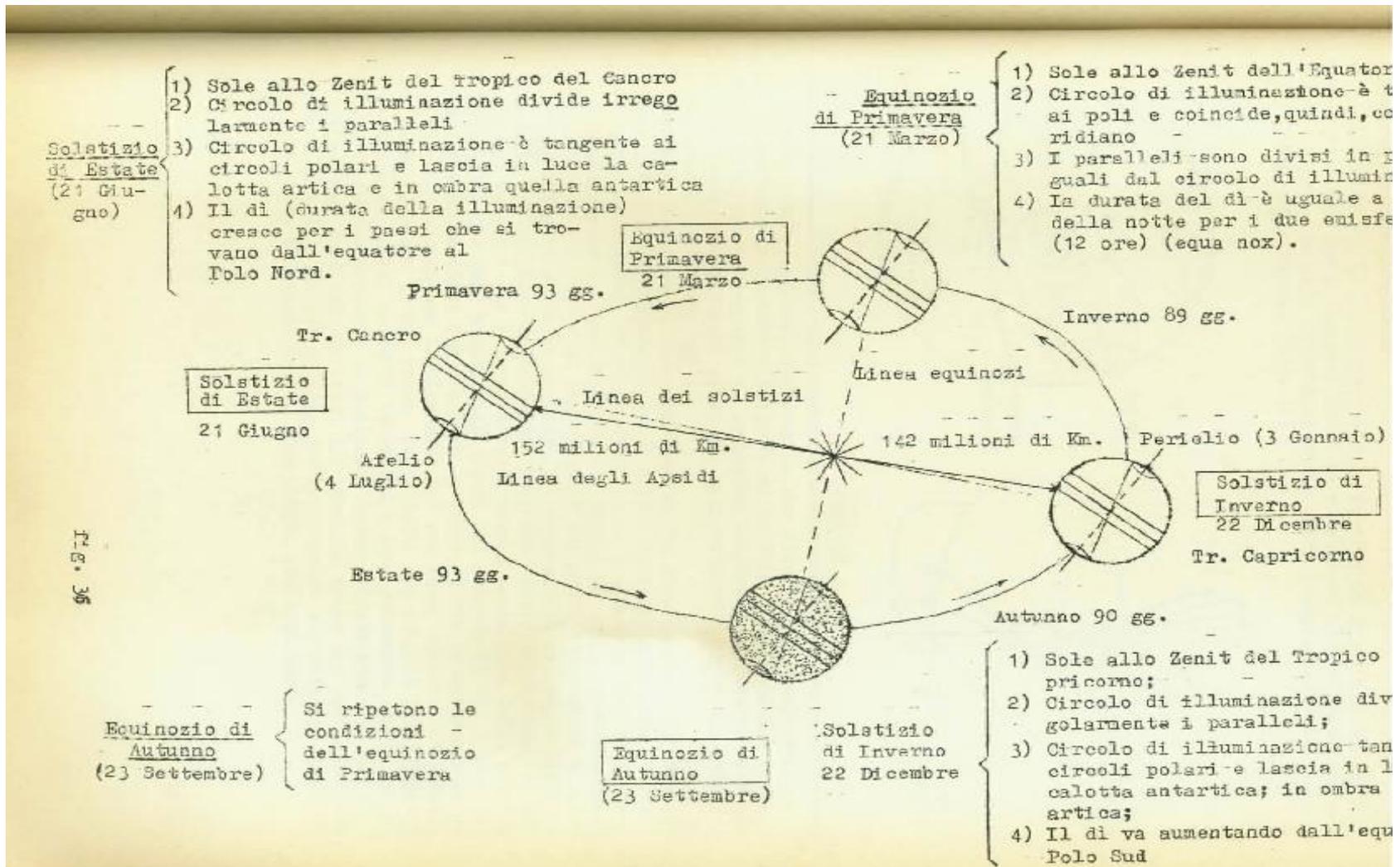


Immagine: Francesco Luiso, "Appunti di Geografia Generale", II ed., 1968

Le stagioni

- A causa dell'inclinazione terrestre, l'emisfero boreale riceve il massimo irraggiamento solare al sostizio d'estate e il minimo al solstizio d'inverno.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Season>

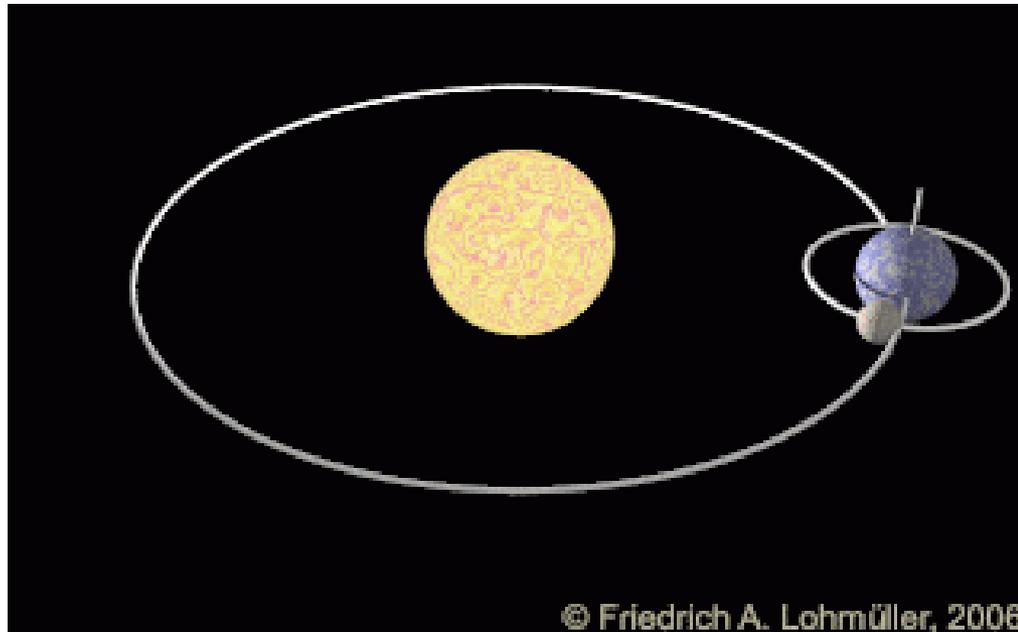
Video: Animation of Earth as seen daily from the Sun looking at [UTC+02:00](#), showing the solstice and changing seasons.

L'obliquità della Terra

- La quantità di calore ricevuto dalla Terra dipende dall'inclinazione dell'asse terrestre = **obliquità**.
- La stabilità dell'obliquità è importante per le variazioni del clima, poiché cambiando l'inclinazione terrestre si ha una diversa distribuzione della radiazione solare e quindi il **clima** può cambiare drasticamente.
- Il clima determina l'**abitabilità** di un pianeta!
- Con temperature molto basse o molto alte si avrebbero solo estremofili.

L'obliquità della Terra

- I movimenti della Terra – rotazione e rivoluzione – sono influenzati dal Sole e dalla Luna, secondo la legge di Newton.



Cosa accade se togliamo la Luna?

Senza la Luna

- Senza la Luna l'asse di rotazione terrestre sarebbe soggetto a notevoli variazioni con conseguenti cambiamenti climatici.
- Senza la Luna, l'asse terrestre avrebbe un movimento caotico e il suo comportamento dipenderebbe fortemente dalle condizioni iniziali.
- Senza la Luna, su un milione di anni si potrebbero avere variazioni tra 18° e 30° , e poi aumentare a 50° in pochi milioni di anni.

[Laskar-Joutel-Robutel, Nature, 1993]

Con la Luna

- Con la Luna, l'asse di rotazione terrestre si mantiene a 23.3° con una piccola variazione di 1.3° .
- In questo caso si determina una variazione del 20% di insolazione sulla Terra a 65° di latitudine Nord, consentendo l'apparizione della vita sul nostro pianeta.
- La **Luna** fa in modo che l'inclinazione terrestre rimanga stabile e quindi la Luna agisce come **regolatore climatico**.

Epilogo

- Che fai tu, luna, in ciel? dimmi, che fai,
Silenziosa luna?
Sorgi la sera, e vai,
Contemplando i deserti; indi ti posi.
Ancor non sei tu paga
Di riandare i sempiterni calli?
Ancor non prendi a schivo, ancor sei vaga
Di mirar queste valli?
[...]
Dimmi, o luna: a che vale
Al pastor la sua vita,
La vostra vita a voi? dimmi: ove tende
Questo vagar mio breve,
Il tuo corso immortale?*