

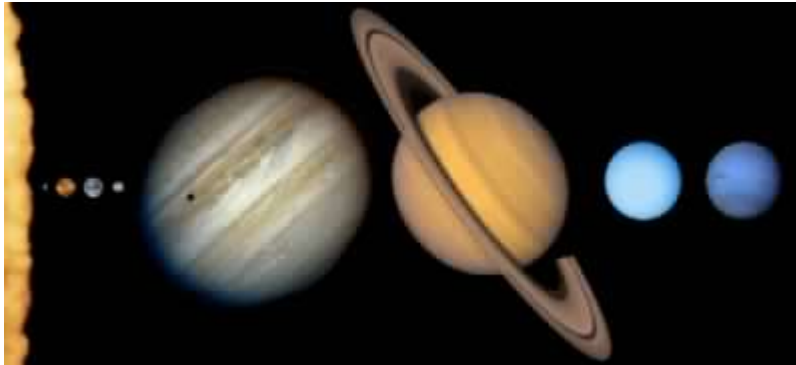
La Terra: caratteristiche di un pianeta abitabile

di Giuseppe Cutispoto (2008)

L'autore è Astronomo associato presso l'Osservatorio Astrofisico di Catania

1. Il Sistema Solare e la Terra

Il nostro Sistema Solare è composto dal **Sole**, dai **Pianeti** (Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano e Nettuno) e dai **Corpi Minori** (Pianeti Nani, Satelliti dei pianeti, Asteroidi e Comete). La massa del Sistema Solare è così distribuita: 99,85% nel Sole, 0,13% nei Pianeti e 0.02% nei Corpi Minori.

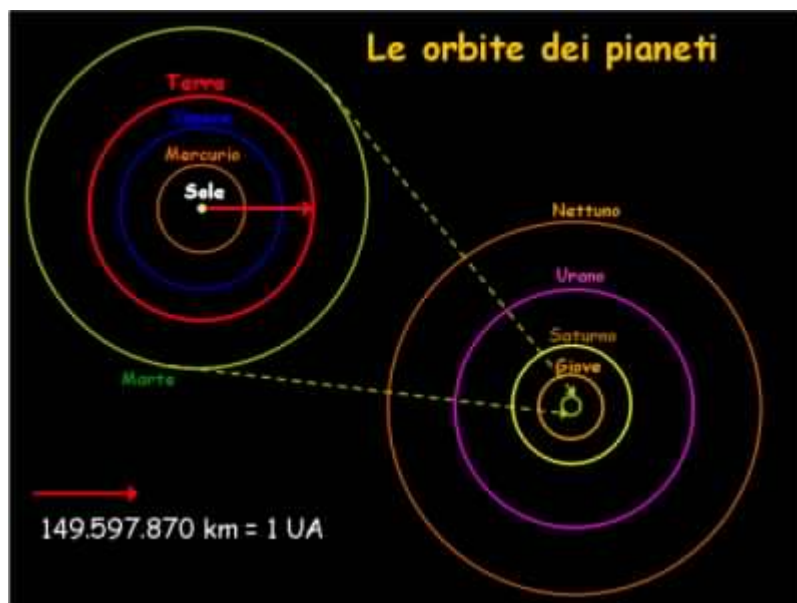


Il Sistema Solare si è originato dalla contrazione di una Nebulosa (probabilmente causata dall'esplosione di una "Supernova"). La contrazione del Sole, che iniziò 4,6 miliardi di anni fa, durò circa 100.000 anni. Intorno al Sole si formò un disco di materia e da esso (in circa 100 milioni di anni) si formarono i pianeti e i corpi minori.





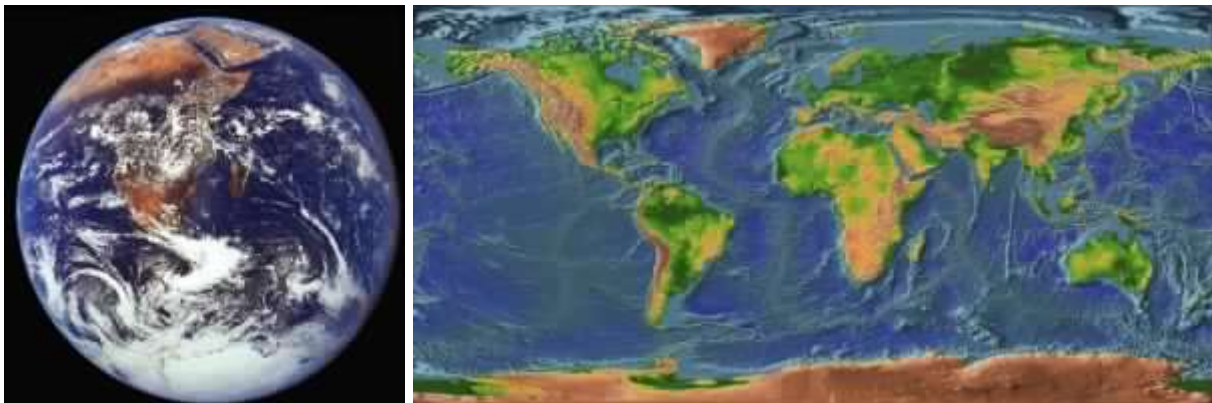
I pianeti si sono formati per accrescimento dal disco: le prime fasi di vita del Sistema Solare sono state caratterizzate da un gran numero di urti, gran parte dei corpi più piccoli andavano a cadere su quelli più grandi. Per i suoi primi 700 milioni di anni la Terra è stata soggetta ad un intensissimo "bombardamento" da parte di piccoli corpi che andavano ad accrescere le sue dimensioni.



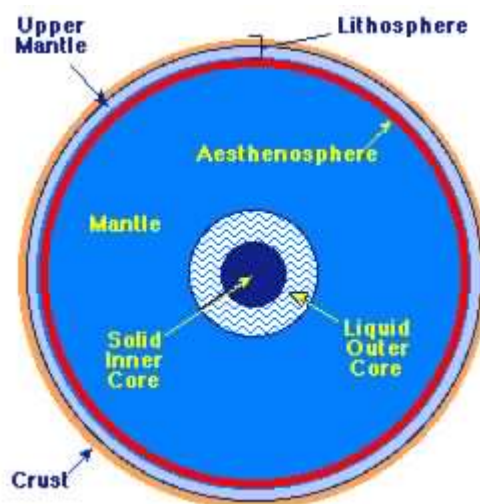
Il **Sole** ha la seguente composizione chimica: 73% di Idrogeno, 25% di Elio: 2% di Elementi pesanti, per una densità di $1,41 \text{ g/cm}^3$. Il suo raggio è di 696.000 km, equivalente a 109 volte il raggio della Terra.



La **Terra** ha un diametro di 12.756 km e si trova ad una distanza dal Sole di 149.597.870 km, equivalente a 11.728 volte il diametro della Terra. La Terra ha una massa di $5,97 \cdot 10^{24}$ kg equivalente a $3 \cdot 10^{-6}$ masse solari e una densità di $5,52 \text{ g/cm}^3$. Le terre emerse corrispondono al 29% della superficie del nostro pianeta, che ha un'atmosfera composta da Azoto (77%), Ossigeno (21%) e CO_2 .



Per quanto riguarda la struttura interna della Terra, dall'esterno si definiscono la Litosfera (0–70 km), il Mantello esterno (70–400 km), una Regione di transizione (400–650 km), il Mantello interno (650–2700 km), la Regione D (2700–2890 km), il Nucleo esterno (2890–5150 km) e il Nucleo interno (5150–6378 km).



Lo 0,4% della massa terrestre è contenuto nella Litosfera solida, il 67,5% nel Mantello semi-fluido, il 30,5% nel Nucleo esterno semi-fluido e il 1,6% nel Nucleo interno solido. La composizione chimica dell'interno della Terra è la seguente: 34,6% di Ferro, 12,7% di Magnesio, 29,5% di Ossigeno, 2,4% di Nichel, 15,2% di Silicio e 1,9% di Zolfo.

2. La vita sulla Terra

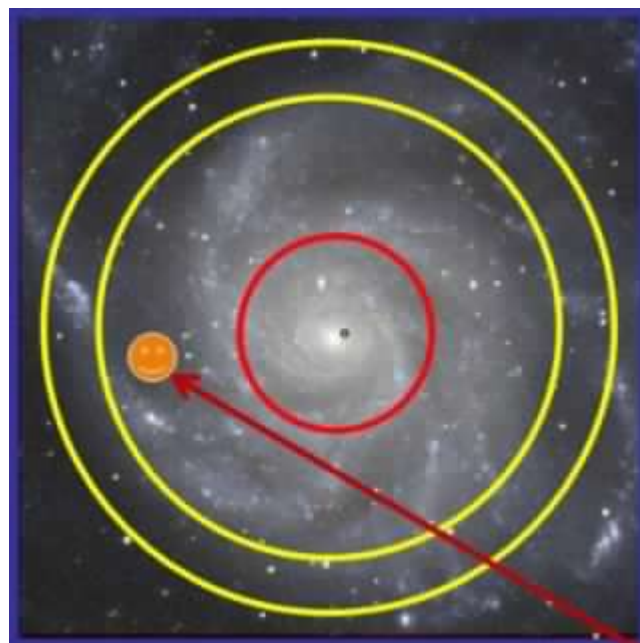
Questi sono i tempi di evoluzione della vita sulla Terra (sono indicati i tempi in anni dall'epoca attuale):

- 4,5 miliardi: nasce la Terra
- 4 miliardi: prime rocce solide
- 3,8 miliardi: diminuisce il bombardamento dei meteoriti
- 3,5 miliardi: primi batteri
- 543 milioni (Cambriano): nascono gli antenati degli animali e delle piante che oggi popolano la Terra
- 3,5 milioni: età di Lucy (*australopithecus afarensis*)
- 150.000: compare in Africa l'Homo Sapiens

Gli "ingredienti" necessari per la vita sulla Terra sono la posizione del Sole nella Galassia, la massa del Sole, la distanza della Terra dal Sole all'interno della fascia di abitabilità, la presenza di attività geologica e vulcanica, la presenza di un grande satellite (la Luna) e la presenza di un pianeta gigante (Giove).

1. La posizione del Sole nella Galassia

La vita ha bisogno di elementi pesanti. Le regioni centrali della Galassia (la zona cerchiata di rosso) sono molto ricche di stelle e di elementi pesanti ma sono pericolose a causa della frequenza delle *supernovae* e delle interazioni tra le stelle. Le regioni esterne (la fascia con i bordi gialli) sono invece povere di elementi pesanti. Il Sole dista **30.000 anni luce** dal centro della Galassia, e questa è la regione più adatta per l'esistenza di pianeti abitabili.

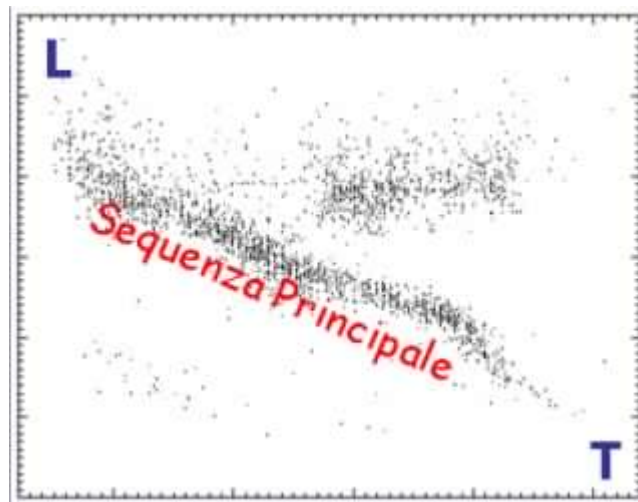


Le stelle di grande massa alla fine della loro evoluzione esplodono ed il materiale di cui erano formate viene espulso nello spazio. L'esplosione porta alla formazione degli elementi più pesanti del ferro. Gli elementi pesanti sintetizzati dalle stelle di grande massa (ed espulsi con il fenomeno di **supernova**) sono indispensabili per la vita. Ma le *supernovae* emettono anche fasci di particelle ad alta energia, raggi X e raggi γ , capaci di distruggere ogni forma di vita nel raggio di migliaia di anni luce.



2. La massa del Sole

La fase più stabile della vita di una stella è quella di **Sequenza Principale**, con la trasformazione di idrogeno in elio. La massa del Sole è $1,99 \cdot 10^{30}$ kg, la massa delle stelle è compresa tra 0,08 e 100 masse solari. Le stelle di massa maggiore consumano rapidamente il loro idrogeno ed hanno una vita più breve, mentre le stelle di massa minore emettono meno energia e vivono più a lungo. Il tempo di vita per il Sole è stimato in 10 miliardi di anni, mentre le stelle con massa superiore a 4 masse solari si evolvono troppo rapidamente per avere tempo sufficiente per la vita.



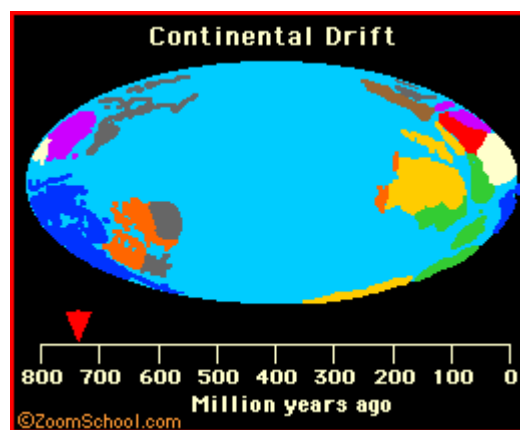
3. La fascia di abitabilità

E' la regione entro la quale un pianeta ha una temperatura tale da poter mantenere l'acqua allo stato liquido sulla sua superficie. La composizione dell'atmosfera gioca un ruolo fondamentale a causa dell'effetto serra (temperatura da -21 °C a $+15$ °C). Le stelle di piccola massa hanno una fascia di abitabilità troppo "stretta".



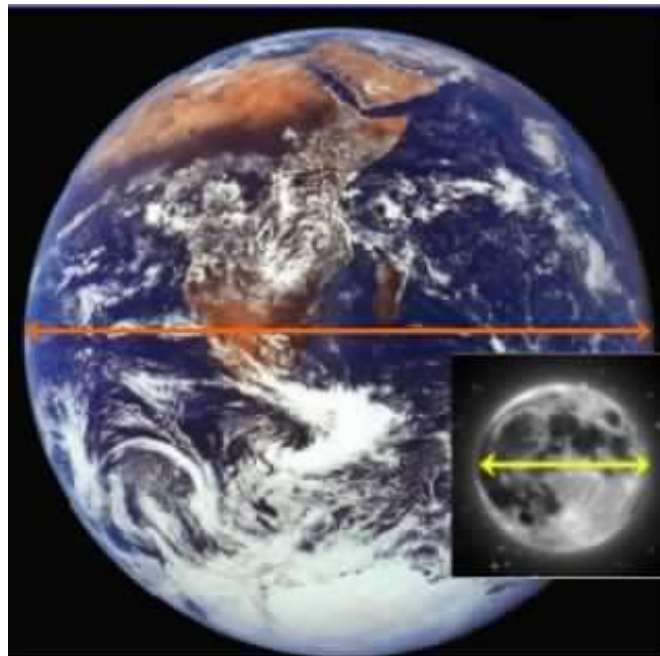
4. L'attività geologica e vulcanica: la "tettonica a zolle"

La litosfera è divisa in "zolle" che si muovono (la cosiddetta **deriva dei continenti**) sopra il mantello. La crosta terrestre si rinnova in 500 milioni di anni tramite *spreading* (due zolle si allontanano) e *subduction* (due zolle entrano in collisione); senza questi processi l'erosione spianerebbe le terre emerse in circa 20 milioni di anni. Lungo le fratture nascono i vulcani, che forniscono l'atmosfera di molecole quali la CO₂, fondamentali per il mantenimento dell'effetto serra.

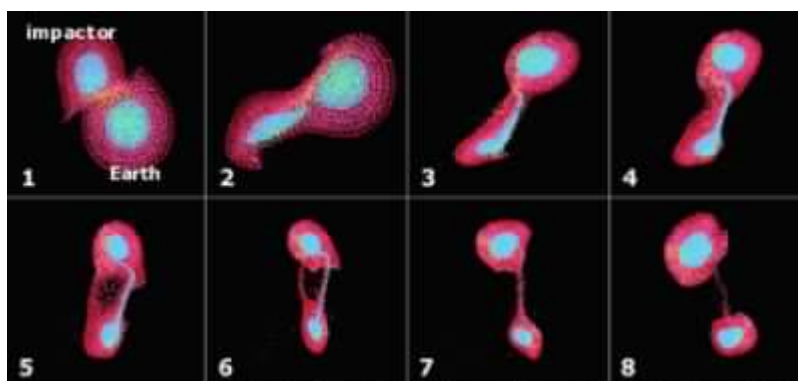


5. L'importanza della Luna

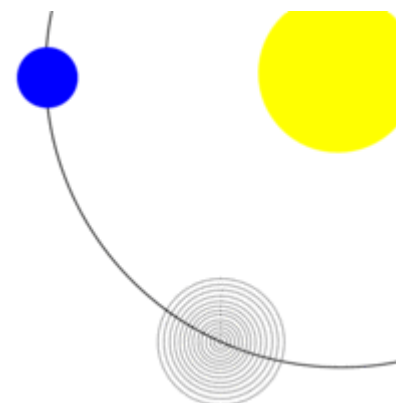
La Terra ha un diametro di 12.756 km, la Luna ha un diametro di 3.476 km, quindi la Terra ha un diametro solo **3.67 volte** quello del suo grande satellite. La massa terrestre è 81 volte la massa lunare, la densità della Luna è di 3.34 g/cm³, quella della Terra è di 5.52 g/cm³. La distanza media tra i due corpi (384.000 km) equivale a circa 30 volte il diametro del nostro pianeta.



La Luna si è formata a seguito dell'impatto della Terra con **Theia**, un corpo formatosi in uno dei punti lagrangiani dell'orbita terrestre. Quando Theia, accrescendosi, raggiunse dimensioni simili a quelle di Marte la sua posizione divenne instabile, le crescenti oscillazioni finirono per fargli colpire la Terra (poco meno di 4.5 miliardi di anni fa). Le regioni più esterne di Theia e parte di quelle terrestri furono espulse nello spazio e formarono, in circa 100 anni, la Luna, mentre il nucleo di Theia venne inglobato dalla Terra.



(Courtesy of A. G. W. Cameron, Harvard College Observatory.)



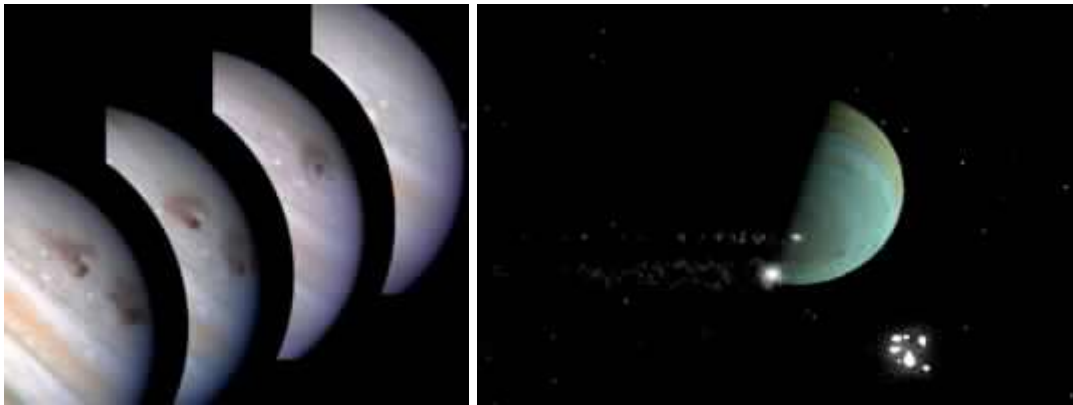
La presenza della Luna ha contribuito a stabilizzare l'asse di rotazione della Terra, uno degli ingredienti più importanti per lo sviluppo della vita.



Angoli tra asse di rotazione e piano del Sistema Solare nei pianeti terrestri:
Mercurio: 0°, Venere: 177°, Terra: 23.5°, Marte: 25°

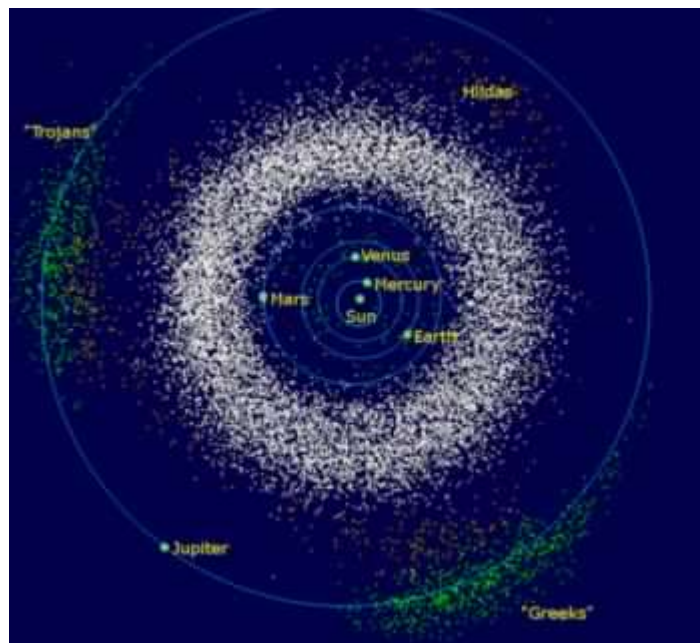
6. Il ruolo di Giove

Giove protegge la parte interna del Sistema Solare dagli impatti di asteroidi e comete. Dal 16 al 20 Luglio 1994 sono avvenuti 20 impatti ad una velocità di 60 km/s con i frammenti della cometa Shoemaker-Levy: il diametro del frammento maggiore era 2 km.



3. Gli asteroidi e le comete

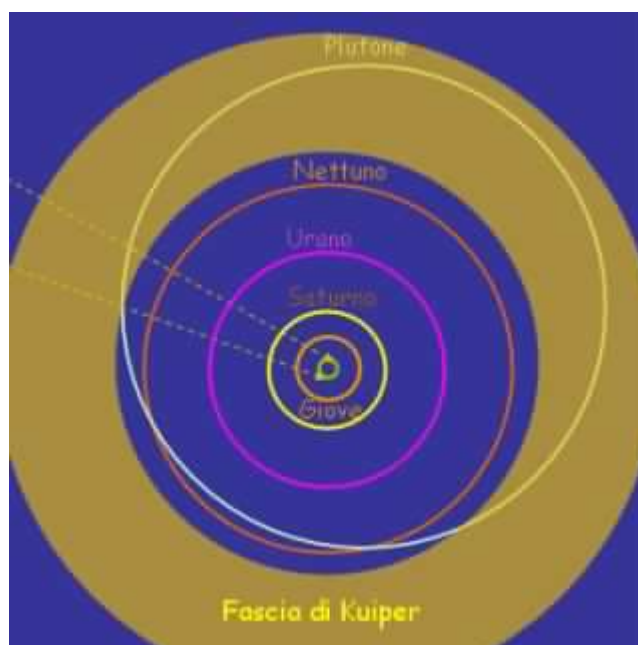
Gli **asteroidi** (o pianetini) orbitano principalmente tra Marte e Giove (nella cosiddetta **fascia degli asteroidi**). Con un diametro di 933 km, il più grande asteroide è Cerere, scoperto nel 1801. La loro massa totale è di circa un millesimo la massa della Terra. Se ne conoscono più di 90.000, ma si stima che ne esistano almeno un milione con diametro maggiore di 1 km.



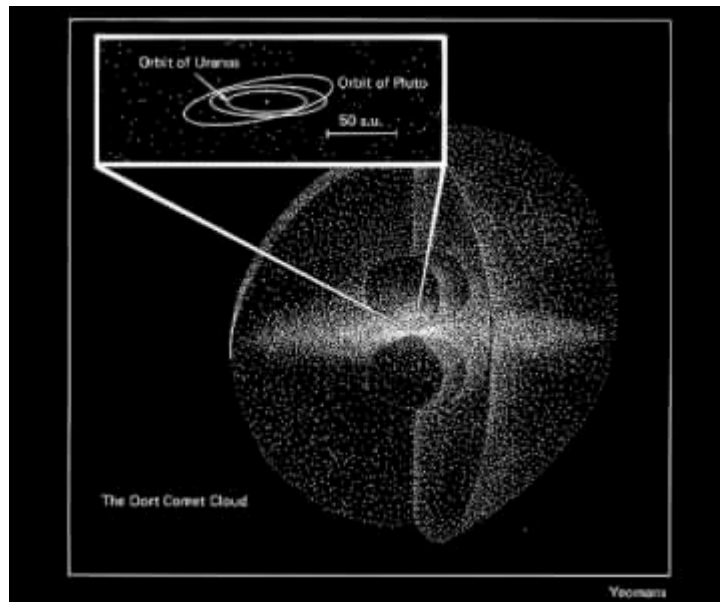


da sinistra a destra: gli asteroidi **Mathilde** (59x47 km), **Gaspra** (19x12x11 km), **Ida** (58x23 km) e **Eros** (33x13x13 km)

Esiste al di là dell'orbita di Nettuno un'altra fascia di asteroidi, detta **fascia di Kuiper**. Il numero di oggetti nella Fascia di Kuiper (tra 30 e 50 U.A.) non è ancora noto, si stima ne esistano almeno 35.000 con un diametro maggiore di 100 km.

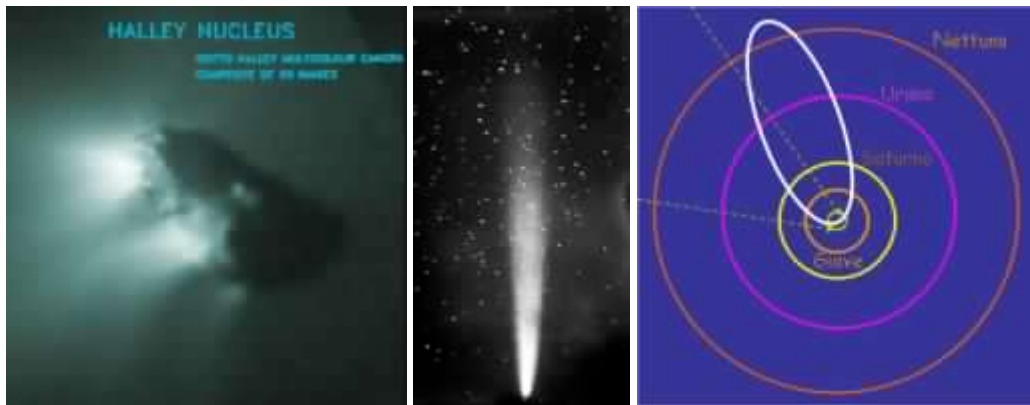


Le comete conosciute sono circa 900, 190 sono le comete periodiche con un periodo inferiore a 200 anni. Hanno origine nella cosiddetta **Nube di Oort**, la regione più esterna del Sistema Solare che si estende fino a circa 50.000 UA (la distanza di α Cen, la stella più vicina, è 270.000 UA). Si stima che la nube di Oort contenga 1.000 miliardi di comete, la cui massa totale potrebbe essere dell'ordine della massa di Giove.



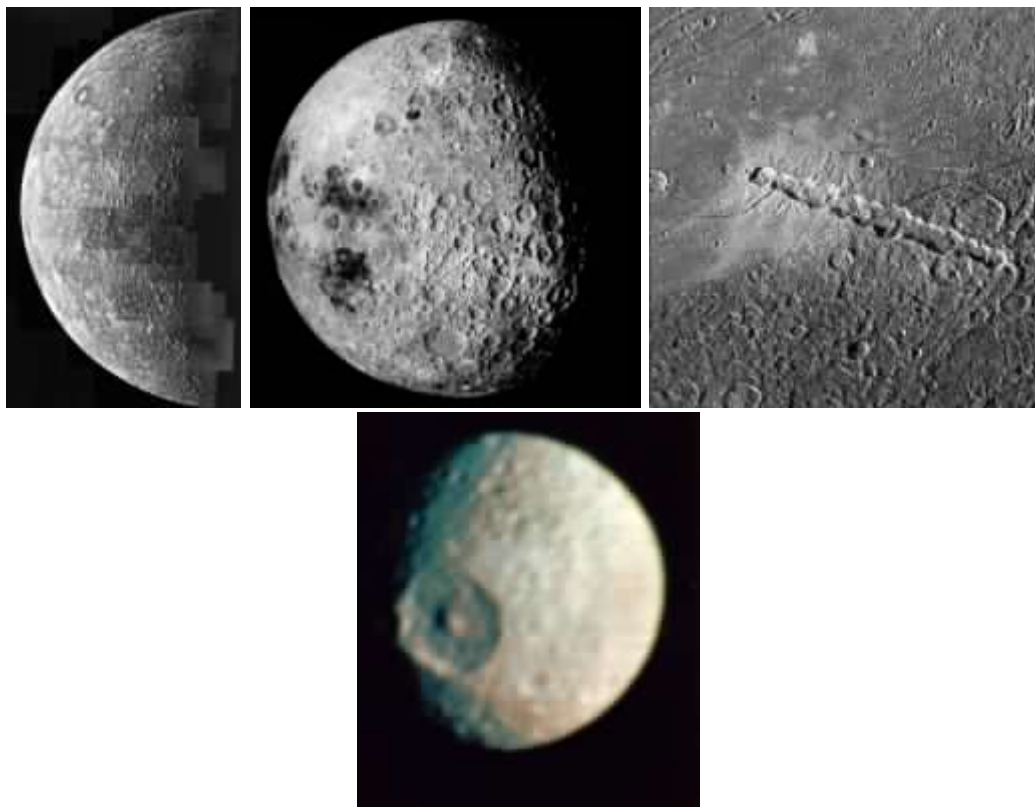
da sinistra a destra: le comete **Hyakutake** (1996), **Swift-Tuttle** (1992) e **West** (1976)

Le comete sono composte da gas ghiacciati e materiale roccioso, hanno dimensioni da 100 m a qualche decina di km, e code che raggiungono i 100 milioni di km. Dopo circa 350 passaggi al perielio una cometa esaurisce il suo gas, quindi le comete sono oggetti entrati recentemente nella parte interna del Sistema Solare.



il nucleo della **cometa di Halley** (8 x 7 x 16 km) fotografato dalla sonda Giotto, e lo schema della sua orbita

I **Near Earth Objects** (NEOs) sono gli asteroidi e le comete con orbite che li portano ad avvicinarsi alla Terra (perielio a meno di 1.3 U.A.) e che possono potenzialmente collidere con il nostro pianeta. Se ne conoscono in tutto 5500, di questi 322 hanno un diametro maggiore di 600 m (ma dovrebbero essere almeno 1000). Non è possibile identificare NEOs con diametro inferiore a 100 m, si pensa ne esistano circa 50.000.



da sinistra a destra: crateri da impatto su **Mercurio**, **Luna** (faccia nascosta), **Ganimede** e **Mimas**

NEAT (Near-Earth Asteroid Tracking system) è una collaborazione internazionale per l'identificazione e lo studio dei NEOs. Il più pericoloso dei 952 "*Potentially Hazardous Asteroids*" fino ad oggi noti è **Apophis** (diametro di circa 390 m), che potrebbe colpire la Terra nel 2036 o essere deviato dai prossimi passaggi in prossimità di Venere e della Terra.

4. la Terra e gli impatti da meteoriti

La Terra è soggetta a un continuo bombardamento da parte di piccoli corpi del Sistema Solare (circa 40.000 tonnellate l'anno).

dimensioni	frequenza	energia	effetti
1 cm	10 / ora	-	

2 cm	1 / ora		meteore che si disintegrano nell'atmosfera
4 m	10 / anno		meteoriti che possono raggiungere la superficie
10 m	1 / anno		
100 m	1 / 10.000 anni	50 megaton	distruzioni su scala locale
1 km	1 / 1.000.000 anni	50.000 megaton	distruzioni su scala planetaria
10 km	1 / 50.000.000 anni	50 milioni di megaton	estinzioni di massa

Sono oltre 100 i **crateri da impatto** identificati. Il più famoso è il Meteor Crater, che ha un diametro di 1186 metri e una profondità di 200 metri. Ha un'età di circa 49.000 anni e il meteorite che lo ha generato ha un diametro di 30/50 metri.



da sinistra a destra: il **Meteor Crater**, età circa 49.000 anni, diametro 1186 m
Wolf Creek (Australia), età circa 300.000 anni, diametro 850 m

A **Tunguska** in Siberia il 30 Giugno 1908 è esploso a 6 km dal suolo un asteroide (o una cometa) con un diametro di circa 60 metri. provocando una distruzione totale in un raggio di circa 30 km. Il boato generato dall'esplosione fu avvertito fino a Londra, a 20.000 km di distanza.

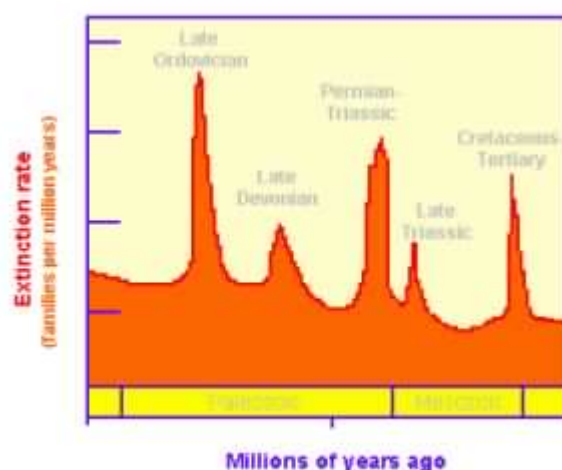


L'**estinzione** è un risultato dell'evoluzione, ed è un fenomeno comune a tutte le ere geologiche. Una specie si estingue quando non è capace di adattarsi alle mutate condizioni ambientali e non è capace di competere con altre specie. Gran parte delle estinzioni sono un processo lento ma continuo, il risultato di numerose piccole variazioni ambientali. Circa il 99% delle specie viventi comparse sulla Terra dal Cambriano ad oggi si sono estinte.

Le **estinzioni di massa** sono eventi improvvisi con notevole riduzione delle specie viventi. Avvengono in un lasso di tempo breve, hanno luogo su tutto il pianeta e coinvolgono un gran numero di specie anche molto diverse. Ne sono state identificate nove, causate da grandi catastrofi naturali o notevoli e rapidi cambiamenti climatici.

Le estinzioni più imponenti sono avvenute nei periodi:

- tardo Ordoviciano (438 milioni di anni fa)
- tardo Devoniano (360 milioni di anni fa)
- fine del Permiano (245 milioni di anni fa)
- tardo Triassico (208 milioni di anni fa)
- fine del Cretaceo (65 milioni di anni fa)



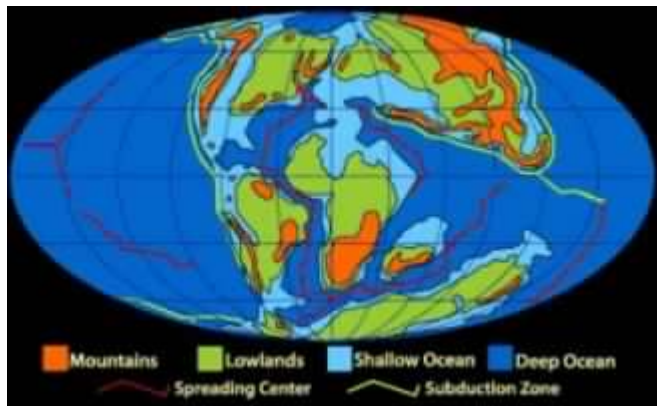
La **teoria dell'impatto** ipotizza che 65 milioni di anni fa la Terra sia stata colpita da un asteroide o da una cometa con diametro di circa 10 km. L'urto non modificò in modo sensibile l'orbita della Terra, ma ebbe delle conseguenze disastrose sull'ecosistema. L'estinzione di massa K-T è l'ultimo evento di questo tipo registrato sul nostro pianeta, scomparvero il 45% delle specie esistenti e tra esse tutti i grandi dinosauri.



La teoria fu proposta nel 1980 da Luis e Walter Alvarez. Si basa sullo studio dei depositi sedimentari (lo strato K-T) databili a 65 milioni di anni fa, ovvero tra la fine del Cretaceo e l'inizio Terziario. Questi sedimenti mostrano un'elevata concentrazione di **iridio**, un elemento rarissimo nella crosta terrestre ma molto abbondante nei meteoriti, **biossido di silicio e tectide**, forme di quarzo che si creano solo in presenza di alte temperature e pressioni e **ceneri di origine vegetale** per oltre 70 miliardi di tonnellate. Lo strato K-T si trova in tutte le regioni della Terra e nessun fossile dei grandi dinosauri è mai stato trovato al di sopra di esso. Il "Dino-Killer" dovrebbe essere un asteroide del diametro di 14 km che ha generato il **cratere di Chicxulub** (Yucatan, Messico), che ha un'età di circa 65 milioni di anni e un diametro di 180 km.



Gli effetti dell'impatto K-T furono polvere e detriti nell'atmosfera, incendi, tempeste, piogge acide, maremoti, attività sismica e attività vulcanica. La catena alimentare risultò sconvolta e gli organismi incapaci di adattarsi a questi bruschi cambiamenti, in particolare i grandi animali quali i dinosauri, iniziarono un rapido declino che portò all'estinzione in poche migliaia di anni.



Ma non tutti i mali vengono per nuocere... La scomparsa di terribili predatori quali erano i grandi dinosauri provocò una svolta nell'evoluzione della vita sulla Terra. I mammiferi, che erano comparsi prima dei dinosauri ma erano rimasti in una nicchia evolutiva, accelerarono il loro sviluppo e dominarono in breve tempo il pianeta. Probabilmente senza la scomparsa dei dinosauri i grandi mammiferi, e tra di essi la razza umana, non sarebbero stati in grado di evolversi fino ai livelli attuali.

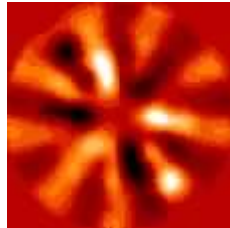
5. Alla ricerca di un'altra Terra

Che la vita si sia sviluppata su altri pianeti è un'idea che ha profonde radici nel pensiero scientifico e filosofico. Le prime intuizioni sulla pluralità dei mondi, e sulla possibilità di forme di vita su altre terre, risalgono alla civiltà greca (Aristarco, Democrito, Epicuro). Nel 1584 Giordano Bruno affermò: *"Esistono innumerevoli soli e innumerevoli terre in orbita intorno ai loro soli"*.



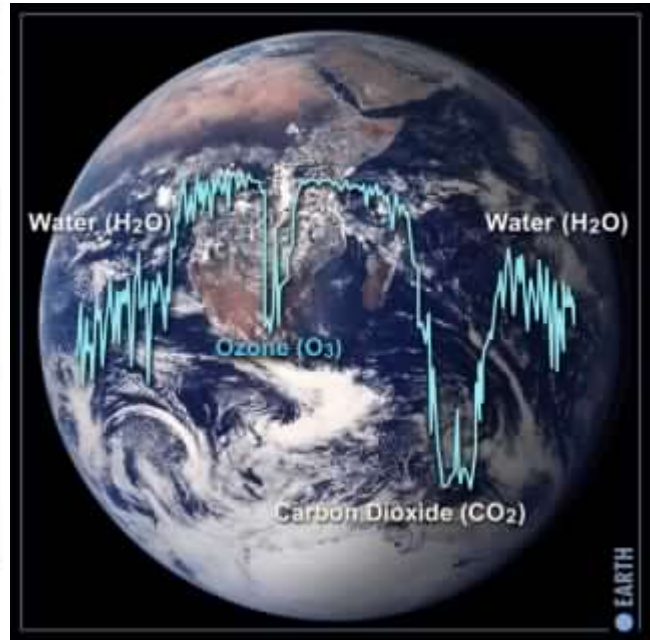
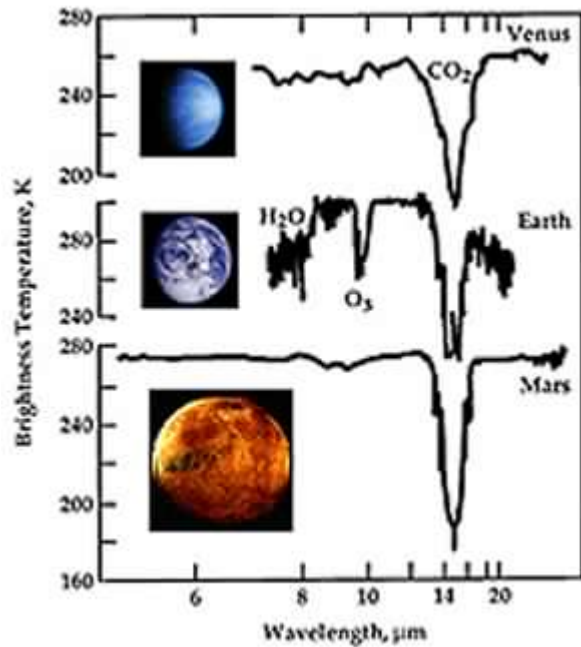
Dal 1995, anno di scoperta del primo pianeta extrasolare (51 Pegasi b) al 2008 sono stati scoperti oltre 270 pianeti extrasolari con massa minima 6 volte ($M_{\text{minima}} = 6 M_{\text{Terra}}$). Da Terra è possibile osservare solo pianeti giganti. Per osservare e caratterizzare pianeti di tipo terrestre saranno necessarie osservazioni dallo spazio.

La missione **Darwin** sarà costituita da una flotta di 8 navette in *constellation flight*: 6 telescopi in infrarosso da 3/4 m, 1 telescopio collettore (HUB) e 1 navetta di comunicazione. E' una missione finanziata dall'ESA, come "potere risolutivo" sarà equivalente ad un telescopio con diametro di oltre cento metri. Il lancio è previsto per il 2020.



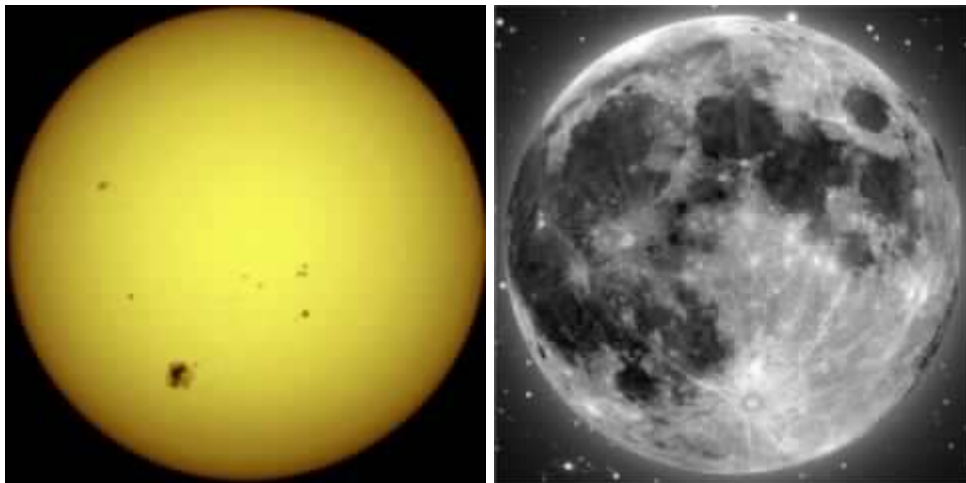
Simulazione di un'immagine di Darwin: Venere, la Terra e Marte visti da 30 anni luce
(la luce proveniente dal Sole è soppressa sfruttando l'interferenza distruttiva)

Darwin potrà ottenere gli spettri della luce riflessa dai pianeti. La molecola di ozono (O_3) è un'impronta di processi biologici.



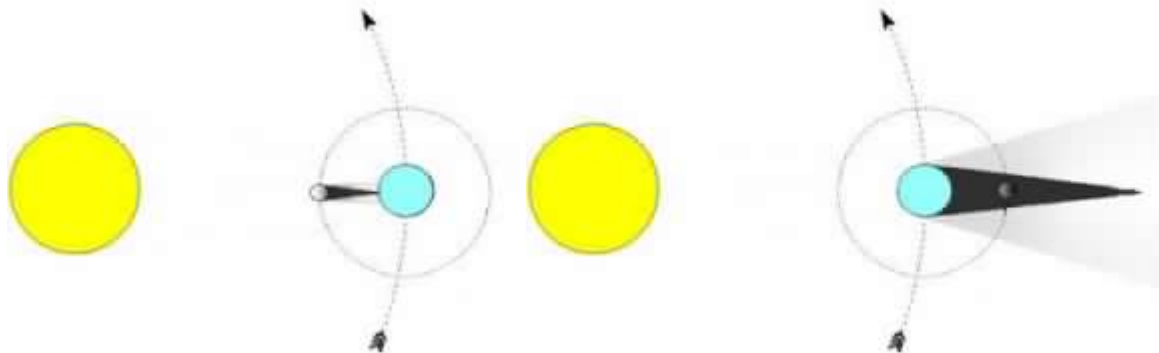
6. Le eclissi

Il diametro del Sole è 400 volte il diametro della Luna, la distanza media tra la Terra e il Sole è circa 390 volte la distanza media tra la Terra e la Luna. Ne risulta che, visti dalla Terra, il Sole e la Luna hanno dimensioni angolari molto simili (circa $30' = 0,5^\circ$).



Una **eclisse** è l'occultamento totale o parziale di un corpo celeste da parte di un altro che transita davanti al primo. L'eclisse si dice **totale** se il corpo eclissato viene occultato totalmente, **parziale** se il corpo eclissato rimane in parte visibile anche nella fase di massima occultazione.

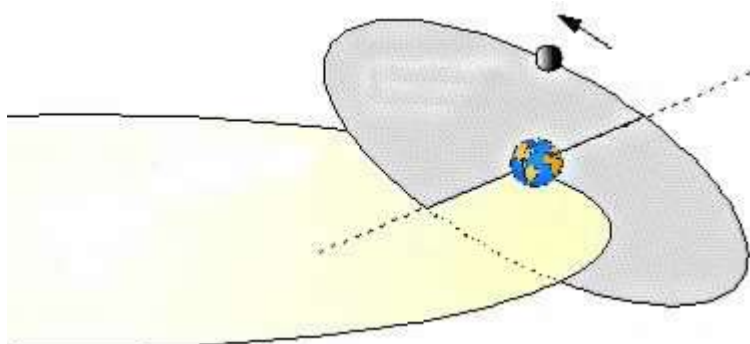
Quando la Terra, la Luna e il Sole sono allineati, dalla Terra si potrà assistere ad eclissi di Sole (allineamento T-L-S) o di Luna (allineamento L-T-S). Nell'**eclisse di Sole** la Luna si trova tra il Sole e la Terra, e l'ombra della Luna risulta proiettata sulla superficie terrestre. Nell'**eclisse di Luna** la Terra si trova tra il Sole e la Luna, e la Luna attraversa il cono d'ombra della Terra.



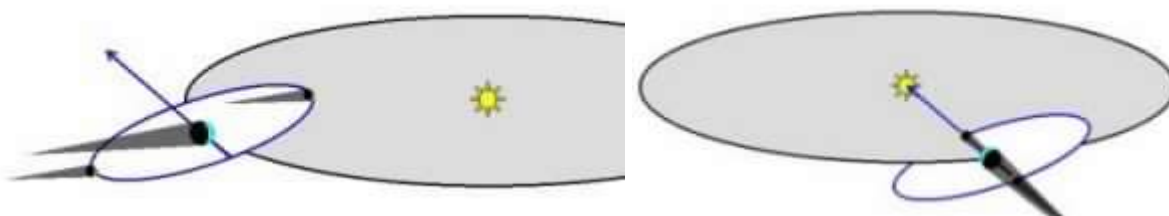
a sinistra schema dell'eclissi di Sole; a destra schema dell'eclissi di Luna

Se le orbite della Luna intorno alla Terra e della Terra intorno al Sole giacessero sullo stesso piano, avremmo due eclissi ogni 29,53 giorni: un'eclisse di Sole in occasione di ogni Luna Nuova e un'eclisse di Luna, in occasione di ogni Luna Piena. Ma l'orbita della Luna è inclinata di circa 5° rispetto a quella della Terra; ciò rende le eclissi di Sole e di Luna fenomeni molto più rari. Il più delle volte infatti la Luna passa troppo in alto o troppo in basso rispetto alla posizione del Sole o dell'ombra della Terra.

Si chiama **Linea dei nodi** l'intersezione tra i piani delle orbite della Terra e della Luna. Solo se la linea dei nodi è allineata con la direzione Terra - Sole si potranno osservare le eclissi. L'allineamento tra linea dei nodi e Sole si verifica almeno due volte ogni anno. In un anno si hanno di norma 4 eclissi (due di Sole e due di Luna), ma in certi anni se ne possono avere fino a 7 (quattro di Sole e tre di Luna, oppure cinque di Sole e due di Luna).



La **linea dei nodi**, intersezione tra i piano delle orbite terrestre (in giallo) e lunare (in grigio)



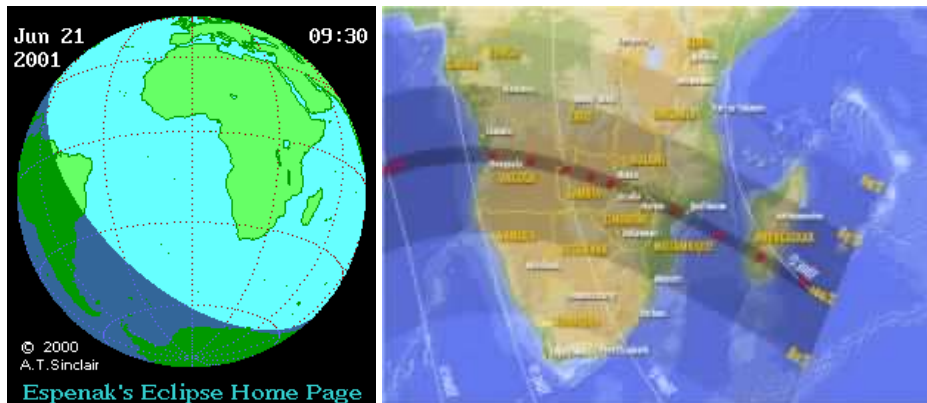
a sinistra: la Luna Nuova è troppo in alto, la Luna Piena è troppo in basso: non ci sono eclissi
a destra: alcuni mesi dopo si verificano l'eclissi di Sole (Luna Nuova) e di Luna (Luna Piena)

Le **eclissi totali di Sole** sono eventi piuttosto rari, occorre un perfetto allineamento tra linea dei nodi e Sole: la "fascia della totalità" è estremamente piccola, ha una larghezza minore di 280 km, circa l'1% della superficie terrestre. In un secolo si verificano circa 70 eclissi totali, la durata massima della totalità è 7m 30s.

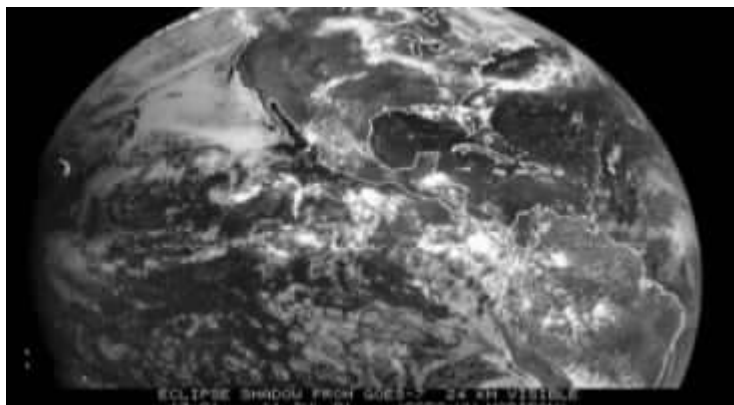




immagini successive del Sole riprese da una località posta sulla fascia della totalità

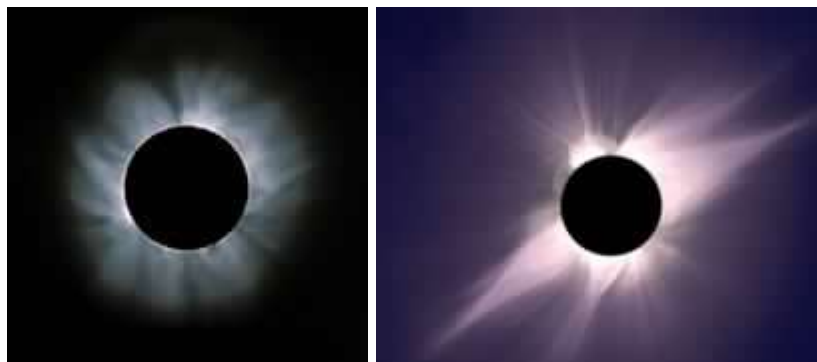


eclisse totale di Sole del 21 Giugno 2001



Eclissi totali di Sole dallo spazio: a sinistra l'ombra della Luna osservata dalla stazione spaziale MIR (11 Agosto 1999), a destra L'ombra della Luna vista dal satellite meteo GOES-7

Fino al 1930 le eclissi totali erano le uniche occasioni in cui si poteva osservare, brevemente, la corona solare. Bernard Lyot nel 1930 costruì il primo coronografo solare all'osservatorio del Pic du Midi. Con l'uso dei coronografi e con le osservazioni dallo spazio la corona solare viene adesso osservata con continuità.



Le eclissi totali permettono di effettuare osservazioni non contaminate dall'enorme luminosità del Sole. L'esperimento più famoso, quello condotto da Eddington durante l'eclisse del 29 Maggio 1919, fu la prima conferma sperimentale della **teoria della Relatività Generale**. Grazie alla sua grande massa il Sole è in grado di deviare la luce. Come previsto da Einstein, Eddington misurò lo spostamento apparente della posizione di alcune stelle vicine al bordo solare.

