

L'ORIGINE DELLA LUNA

Sono state proposte diverse ipotesi per spiegare la formazione della Luna che, in base alla datazione isotopica dei campioni di roccia lunare portati a Terra dagli astronauti, risale a $4,527 \pm 0,010$ miliardi di anni fa, cioè circa 50 milioni di anni dopo la formazione del sistema solare.



Teoria della fissione

Storicamente le prime teorie suggerirono che la Luna si sarebbe originata dalla Terra, staccandosi per fissione dalla sua crosta per effetto della forza centrifuga e creando il bacino di un oceano (si presume l'Oceano Pacifico). Questa teoria, nota come teoria della fissione, richiederebbe però un valore iniziale troppo elevato per la rotazione terrestre; e non è compatibile con l'età relativamente giovane della crosta oceanica.

Teoria della cattura

Un'altra teoria, detta della cattura, ipotizza invece che la Luna si sia formata in un'altra zona del sistema solare e che sia stata in seguito catturata dall'attrazione gravitazionale terrestre, che però richiederebbe un'enorme estensione dell'atmosfera terrestre per dissipare l'energia cinetica del satellite in transito.

Teoria dell'accrescimento

L'ipotesi dell'accrescimento presuppone che la Terra e la Luna si formarono assieme nello stesso periodo a partire dal disco di accrescimento primordiale. In questa teoria, la Luna si formò dai materiali che circondavano la proto-Terra, analogamente a come si formarono i pianeti attorno al Sole. Questa ipotesi però non spiega in modo soddisfacente la scarsità di ferro metallico sulla Luna.

Nessuna di queste teorie, comunque, riesce a spiegare l'elevato momento angolare del sistema Terra-Luna.

Teoria dell'impatto gigante

Attualmente la teoria dell'impatto gigante è quella maggiormente accettata dalla comunità scientifica. Fu proposta nel 1975 da William K. Hartmann e Donald R. Davis i quali ipotizzarono l'impatto di un corpo delle dimensioni di Marte (che è chiamato **Theia o Orpheus**) con la Terra. Da quest'impatto si sarebbe generato abbastanza materiale, nell'orbita circumterrestre, da permettere la formazione della Luna. Anche l'astronomo canadese Alastair G.



W. Cameron era un convinto sostenitore di questa tesi. Si pensa, inoltre, che i pianeti si siano formati attraverso un'accesione di corpi più piccoli in oggetti maggiori e, al giorno d'oggi, è riconosciuto che impatti come questo potrebbero essere avvenuti anche per alcuni altri pianeti. Anzi, si ipotizza che al

momento della formazione del Sistema Solare, i pianeti che lo componevano erano decine se non centinaia, e via via che le loro orbite li portarono ad impattare sino all'equilibrio attuale (non definitivo), molti andarono distrutti o si fusero in corpi maggiori. Ad esempio, la presenza di litio (il terzo elemento della tavola periodica) sul Sole, che non ha origine stellare in quanto non si forma nel ciclo degli astri, ma risale ai primi istanti dopo il Big Bang, è dovuta ad un pianeta gassoso forse più grande di Giove che ha colliso con la nostra stella in epoche remote.

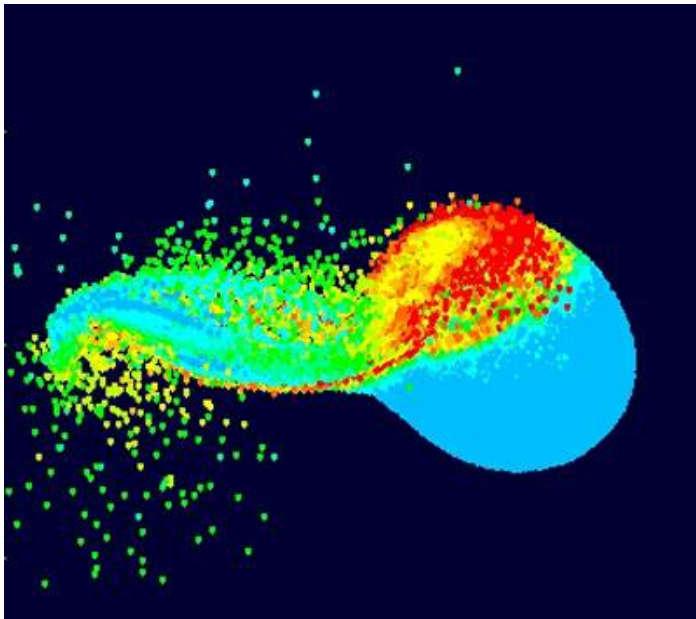
Per quanto riguarda l'origine della Luna, l'ipotetico corpo Theia si sarebbe formato in un punto di Lagrange relativo alla Terra, ossia in una posizione gravitazionalmente stabile lungo la stessa orbita del nostro pianeta. Qui Theia si sarebbe accresciuto progressivamente inglobando i planetesimi e i detriti che occupavano in gran numero le regioni interne del sistema solare poco dopo la sua formazione. Quando Theia crebbe fino a raggiungere la dimensione di Marte, la sua massa divenne troppo elevata per restare stabilmente nel punto di Lagrange. In accordo con questa teoria, 34 milioni di anni dopo la formazione della Terra (circa 4533 milioni di anni fa) questo corpo colpì la Terra con un angolo obliquo, distruggendosi e proiettando nello spazio sia i suoi frammenti sia una porzione significativa del mantello terrestre.

Secondo alcuni calcoli, il due per cento della massa di Theia formò un anello di detriti, mentre circa metà della sua massa si fuse per formare la Luna, processo che potrebbe essersi completato nell'arco di un secolo. È anche possibile che una parte del nucleo di Theia, più pesante, sia affondata nella Terra stessa fondendosi con il nucleo originario del

nostro pianeta. Simulazioni al computer dell'impatto riescono a predire sia il valore del momento angolare del sistema Terra-Luna, sia la piccola dimensione del nucleo lunare.

Si ritiene che un simile impatto avrebbe completamente sterilizzato la superficie terrestre, provocando l'evaporazione degli eventuali mari primordiali e la distruzione di ogni tipo di molecola complessa. Se mai sulla Terra fossero già all'opera processi di formazione di molecole organiche, l'impatto di Theia dovrebbe averli bruscamente interrotti.

È stato inoltre suggerito che in conseguenza dell'impatto si siano formati altri oggetti di dimensioni significative (ma comunque inferiori a quelle della Luna) che avrebbero



continuato ad orbitare attorno alla Terra, magari occupando uno dei punti di Lagrange del sistema Terra-Luna. Nell'arco di un centinaio di milioni di anni al più, le azioni gravitazionali degli altri pianeti e del Sole ne avrebbero comunque destabilizzato le orbite, causandone la fuga dal sistema o delle collisioni con il pianeta o con la Luna. Uno studio pubblicato nel 2011 suggerisce che una collisione tra la Luna e uno di questi corpi minori (dalle dimensioni pari ad un trentesimo di quelle lunari), potrebbe aver causato le notevoli differenze in caratteristiche

fisiche esistenti tra le due facce della Luna. Le simulazioni condotte suggeriscono che se l'impatto tra i due satelliti fosse avvenuto con velocità sufficientemente bassa, non avrebbe condotto alla formazione di un cratere, ma il materiale del corpo minore si sarebbe "spalmato" sulla Luna, aggiungendo alla sua superficie uno spesso strato di crosta degli altipiani (che oggi vediamo occupare la faccia nascosta della Luna, la cui crosta è spessa circa 50 km più di quelle della faccia visibile).

Gli indizi che avvalorano questa teoria derivano dalle rocce raccolte durante gli atterraggi delle missioni Apollo, che mostrarono composizioni di isotopi di ossigeno quasi uguali a quelle terrestri. Inoltre la presenza di campioni di rocce di tipo KREEP (ovvero contenenti K = potassio, REE = Terre rare ((EN) Rare Earth Elements), P = fosforo) indicano che in un periodo anteriore una grande parte della Luna fosse in uno stato fluido e la teoria dell'impatto gigante spiega facilmente l'origine dell'energia richiesta per formare un tale oceano di lava. Esistono diverse prove che la Luna possiede un nucleo ferroso, anche se piccolo. In particolare, la densità media, il momento di inerzia e l'induzione magnetica suggeriscono che deve essere circa un quarto del raggio lunare. Per confronto, gli altri corpi di tipo terrestre hanno un nucleo pari a metà del raggio. La Luna si sarebbe quindi formata principalmente da materiale proveniente dal mantello terrestre e dall'oggetto che ha impattato, mentre il nucleo di quest'ultimo si sarebbe unito alla Terra, spiegando in questo modo il valore del momento angolare. Ovviamente, il fatto che la Luna sia geologicamente morta, ossia completamente solidificata, nucleo ferroso incluso, le impedisce di avere un campo magnetico apprezzabile sul tipo di quello terrestre. Lo stesso discorso può essere fatto riguardo a Marte, anche se non è sicuro che il pianeta si sia

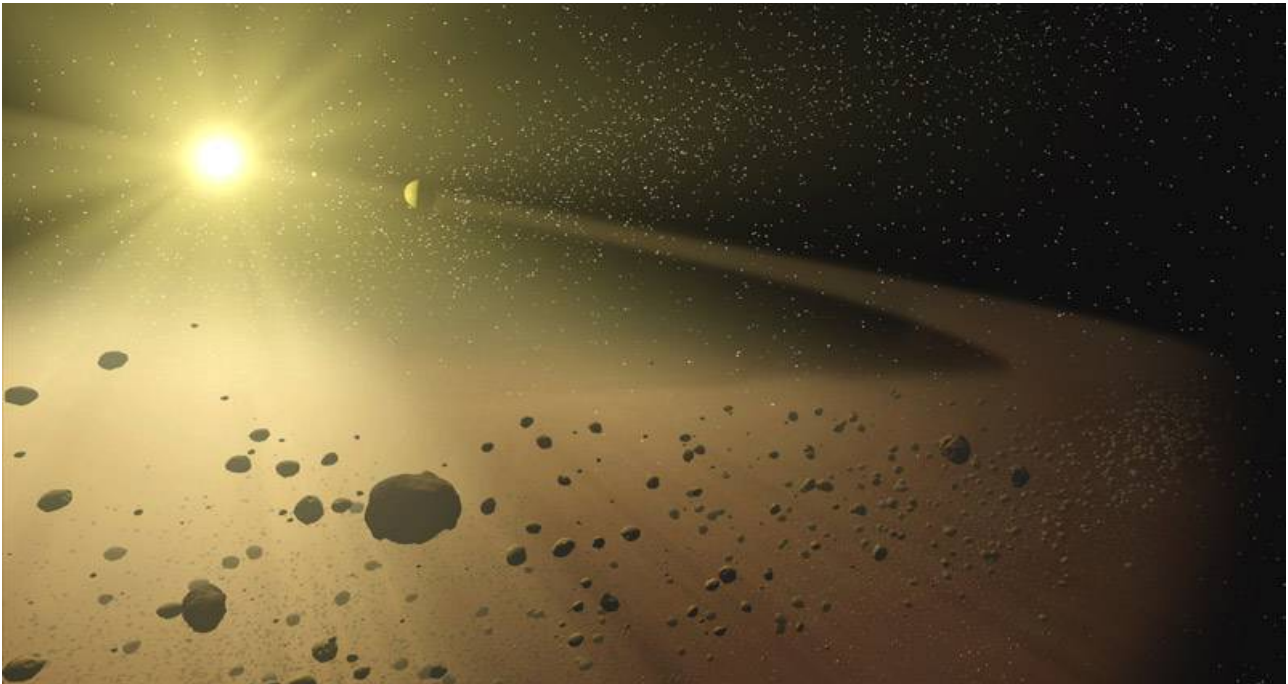
completamente raffreddato, soprattutto in virtù del fatto che al centro dei pianeti, per azione della gravità durante la loro formazione, si concentrano tutti gli elementi più pesanti, non solo quelli ferrosi, ma anche quelli radioattivi, da cui si sviluppa buona parte del calore che ne impedisce il raffreddamento anzitempo.

Gli interrogativi ancora aperti che riguardano l'ipotesi dell'impatto gigante sono:

- Alcuni elementi volatili della Luna non si sono esauriti come previsto dalla teoria.
- La percentuale di ossido di ferro (FeO) della Luna implica che il materiale proto-lunare proverrebbe da una piccola frazione del mantello terrestre;
- Se il materiale proto-lunare proviene dal corpo che ha impattato, la Luna dovrebbe essere ricca di elementi siderofili, ma ne sono state rilevate quantità minime.

Controprove

Uno studio recente (maggio 2011) condotto dalla NASA porta elementi che tendono a smentire questa ipotesi. Lo studio, eseguito su campioni vulcanici lunari solidificatisi 3,7 miliardi di anni fa e raccolti dalla missione Apollo 17 del 1972, ha permesso di misurare nel magma lunare una concentrazione d'acqua 100 volte superiore a quelle precedentemente stimate. Le rocce vulcaniche tendono a includere in esse, all'interno di microstrutture cristalline, alcuni elementi volatili, tra cui l'acqua, e con analisi molto sofisticate è possibile ricavare la quantità d'acqua presente nel suolo lunare. Secondo la teoria dell'impatto l'acqua dovrebbe essersi dissolta quasi completamente durante l'impatto, mentre dai dati qui ricavati la quantità d'acqua stimata è simile a quella presente nella crosta terrestre. Tuttavia, se posso spendere una lancia in favore di questa ipotesi, bisogna ricordare che la formazione dell'acqua sulla Terra è avvenuta grazie ad innumerevoli impatti di comete ed asteroidi provenienti dalla Fascia di Kuiper primordiale, che durante la formazione del



Sistema Solare è stata destabilizzata dalle orbite di Nettuno ed Urano che l'attraversavano, prima di collocarsi nelle loro attuali posizioni invertite ai margini del sistema. Questo si è ipotizzato avvenne a causa delle perturbazioni gravitazionali di

Saturno e Giove nei confronti degli altri due giganti gassosi. Tutto ciò causò un bombardamento verso i pianeti rocciosi interni che li rifornì di acqua in tale quantità da allagarli nel vero senso della parola, e la Terra oggi con i suoi immensi oceani ne costituisce la prova. Il destino che ebbe poi l'acqua sulla Luna e su Marte è stato diverso, ma ciò non impedisce di supporre che, anche se l'impatto di Theia ha dissolto l'acqua presente, nuovi apporti successivi il raffreddamento lunare nonché terrestre da parte degli asteroidi di cui il Sistema Solare era stracolmo, possono aver rifornito la Terra ed il suo satellite, inclusa una ricaduta per recupero gravitazionale della stessa acqua rimossa sotto forma di gas e vapore dall'impatto con Theia.