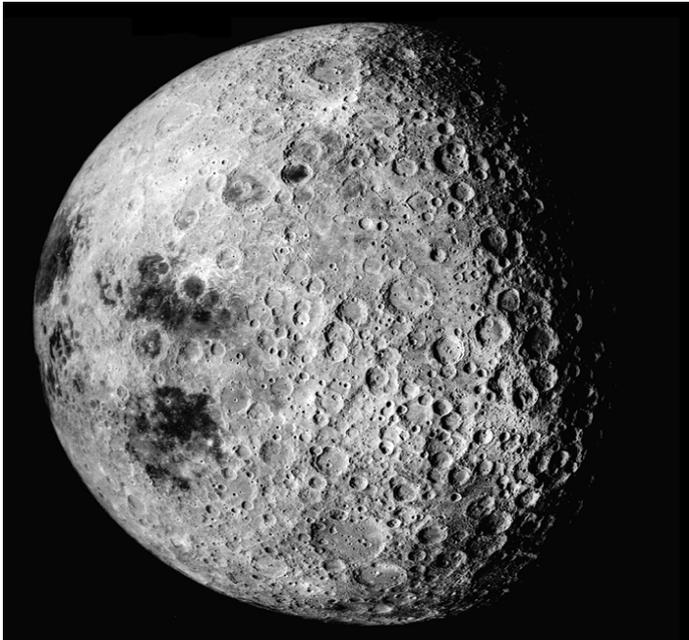


La Luna e il sistema Terra-Luna

LA LEZIONE

Introduzione



La Luna è l'unico satellite naturale della Terra, di cui costituisce anche l'oggetto celeste più vicino: è un corpo opaco che risplende per luce riflessa del Sole. Dopo il Sole, è l'oggetto più luminoso del cielo: la sua magnitudine (alla Luna piena) è $-12,7$. Per dimensioni, essa si colloca al quinto posto fra i satelliti del Sistema solare: sono più grandi della Luna soltanto 3 satelliti di Giove (Ganimede, Callisto e Io), un satellite di Saturno (Titano) e uno di Nettuno (Tritone). Il suo diametro medio misura 3476 km, cioè circa 27/100 di quello terrestre; la sua forma è quasi esattamente sferica (il diametro polare è inferiore a quello equatoriale medio di soli 2 km).

[fig.1A](#) Immagine della Luna ripresa dalla missione spaziale Apollo 16 nel 1972

La massa della Luna ($7,35 \cdot 10^{22}$ kg) è 81,3 volte più piccola di quella della Terra; la densità media ($3,33$ g/cm³) circa il 60% di quella terrestre ($5,52$ g/cm³). L'accelerazione di gravità alla superficie è $1,63$ m/s², cioè circa 1/6 di quella terrestre. La velocità di fuga è 2,38 km/s. La riflettività media della superficie circa il 12%.

La Luna è praticamente sprovvista di atmosfera. D'altra parte, ha un campo gravitazionale troppo debole per aver trattenuto intorno a sé, durante la sua lunga vita, quantità apprezzabili di gas. Nonostante queste considerazioni, si riteneva (e le missioni Apollo hanno confermato) che intorno alla Luna vi fossero delle tenui tracce di atmosfera. La densità dei gas atmosferici (essenzialmente l'argo, il cripto e lo xeno) è soggetta a una forte differenza giornaliera (da circa 500.000 atomi/cm³ durante la notte a circa 10.000.000 di atomi/cm³ durante il giorno). Si tratta, comunque, di valori piccolissimi: la pressione al suolo è, infatti, dell'ordine di appena 10^{-14} - 10^{-13} bar. Sulla superficie lunare vi è una fortissima escursione termica giornaliera. Ciò dipende da due fattori: la mancanza di atmosfera e la lunghezza del giorno e della notte (che durano circa due settimane ciascuno). Nella fascia equatoriale, esplorata nelle missioni Apollo, la temperatura, durante il giorno, sale fino a circa 110 °C mentre, durante la notte, scende a circa -170 °C. Intorno ai poli, dove i raggi del Sole giungono sempre molto bassi sull'orizzonte, la temperatura è relativamente mite e costante.

La Luna provoca sulla Terra le *maree* marine, atmosferiche e della crosta solida. L'interazione mareale ha avuto l'effetto di rallentare, attraverso il tempo, sia la rotazione della Terra sia quella della Luna: il giorno terrestre si allunga di circa 2 millesimi di secondo ogni secolo; quello lunare si è allungato assai di più fino a portare il nostro satellite nell'attuale stato di rotazione sincrona, in cui il suo periodo di rotazione uguaglia quello di rivoluzione intorno alla Terra. Un'ulteriore conseguenza dinamica di questo fenomeno è che, dovendosi conservare il momento angolare

complessivo del sistema Terra-Luna, questi due corpi si allontanano lentamente l'uno dall'altro (alla velocità di circa 2 cm all'anno).

Moti della Luna

Il moto della Luna rispetto al Sole risulta dalla composizione di due principali moti diversi, uno di rivoluzione intorno alla Terra e uno, insieme alla Terra, di rivoluzione intorno al Sole. la Luna è poi animata, come la Terra, di un moto di rotazione. Il moto proprio della Luna sulla volta celeste è in senso diretto, cioè da O verso E, con una velocità di circa $13^{\circ}11'$ al giorno.

La Luna compie il giro completo della volta celeste in riferimento alle stelle fisse in $27^d7^h43^m11,5^s$ (*rivoluzione siderale* o *mese siderale*). Il periodo di rotazione della Luna intorno al suo asse uguaglia esattamente quello della rivoluzione intorno alla Terra. Questa configurazione dinamica, chiamata *rotazione sincrona*, è stata prodotta dalle forze mareali esercitate dalla Terra: in conseguenza di ciò, la Luna rivolge sempre lo stesso emisfero verso la Terra. Tuttavia, a causa dei moti di librazione della Luna in longitudine e in latitudine (piccole oscillazioni sul piano orizzontale e su quello verticale), i contorni dell'emisfero visibile cambiano leggermente nel tempo, sicché, nel complesso, dalla Terra si riesce a osservare quasi il 60% della superficie lunare. Durante la rivoluzione della Luna intorno alla Terra, il Sole si muove lungo l'eclittica, per cui il tempo impiegato dalla Luna per ritornare nella medesima posizione rispetto alla Terra e al Sole è maggiore del mese siderale (l'intervallo tra due successivi allineamenti della Luna e di una stella su uno stesso meridiano, di durata $27^d7^h43^m11,5^s$), e precisamente uguale a $29^d12^h44^m2,8^s$ (*rivoluzione sinodica* o *mese sinodico*, o *lunazione*). Le differenze tra mese siderale e sinodico derivano dal fatto che mentre la Luna ruota attorno alla Terra, questa si è spostata per il moto di rivoluzione attorno al Sole. Per ritrovare l'allineamento con la Terra e il Sole è necessario che la Luna compia un ulteriore arco intorno alla Terra, corrispondente all'angolo che la Terra ha compiuto nel corso dei 27 giorni trascorsi girando attorno al Sole.

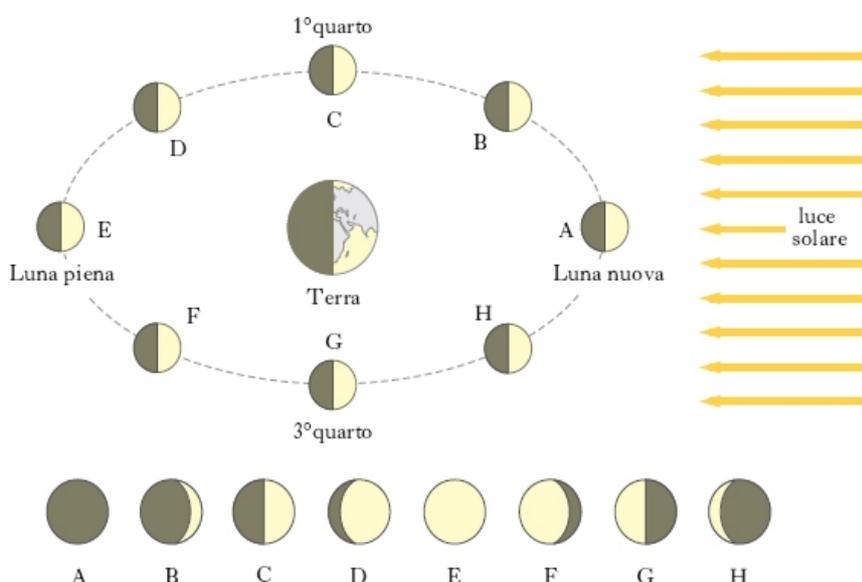


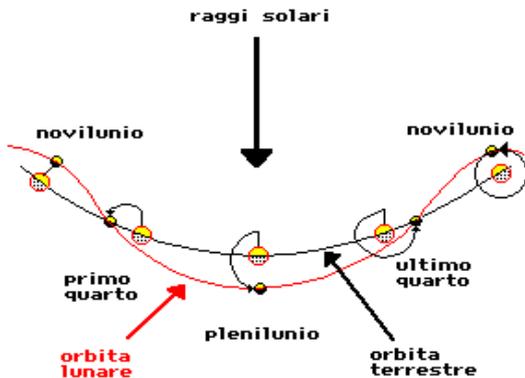
fig.1B Fasi lunari (in alto) e corrispondente aspetto del disco lunare visto dalla Terra (in basso)

Nel corso del mese sinodico varia la posizione reciproca della Luna rispetto al Sole e alla Terra (fig.1), sicché l'emisfero visibile della Luna passa con continuità dalla fase di completo oscuramento (*Luna nuova* o *novilunio*), durante la quale la Luna è in congiunzione con il Sole e nasce e tramonta con esso, alla fase di completa illuminazione (*Luna piena* o *plenilunio*), durante la quale la Luna è in opposizione con

il Sole, nasce al tramonto e tramonta all'alba, attraverso fasi intermedie (*primo quarto*, quando è illuminata soltanto la metà occidentale del disco, e *ultimo quarto*, quando è illuminata solamente la metà orientale); le quattro fasi lunari sono spaziate regolarmente tra loro di circa una settimana. Va notato che al novilunio il disco lunare appare debolmente luminoso per la luce su di esso rinviata dalla Terra (*luce cinerea*); 12 lunazioni formano un anno lunare, corrispondente 354 giorni, 8 ore, 48 minuti e 36 secondi. La rivoluzione sinodica ha una grande importanza pratica, poiché dipendono da essa le fasi lunari e quindi le feste mobili del calendario.

Il punto dell'orbita lunare più vicino alla Terra è detto *perigeo*, il più lontano *apogeo*. A causa delle perturbazioni gravitazionali dovute al Sole e ai pianeti, le distanze della Luna al perigeo e all'apogeo non rimangono costanti nel tempo: i loro valori estremi, nel corso dell'ultimo millennio, sono stati rispettivamente 356.371 km e 406.720 km.

La distanza media Terra-Luna è circa 384.400 km. Il diametro angolare (apparente) della Luna varia fra circa 33'30" al perigeo e circa 29'30" all'apogeo. La retta che congiunge il perigeo e l'apogeo (detta *linea degli apsidi*) subisce, a motivo delle perturbazioni, un moto nel senso diretto con periodo di circa 9 anni. L'asse di rotazione lunare è praticamente perpendicolare al piano di rivoluzione lunare, per cui non si verificano sulla Luna cambiamenti stagionali di altezza e illuminazione solare.



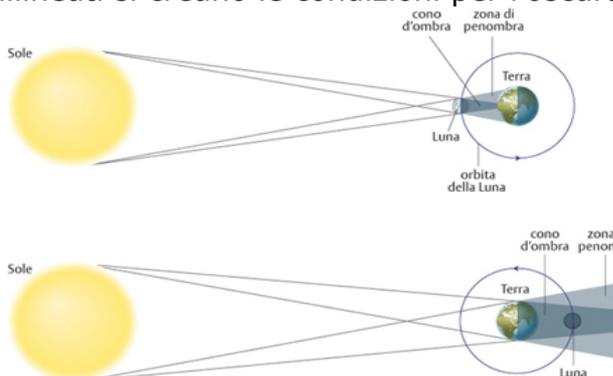
Mentre compie i moti di rivoluzione e di rotazione, la Luna segue la Terra nel moto di traslazione attorno al Sole, nello stesso verso e con la stessa velocità della Terra, con un'orbita che ovviamente non si snoda lungo un'ellisse regolare, dal momento che la posizione della Luna rispetto alla Terra non è fissa. La curva che ne risulta è detta *epicicloide*, e corrisponde a un'ellisse deformata che si sposta leggermente verso l'interno e verso l'esterno durante l'anno (fig.2).

fig.2 L'orbita di rivoluzione della Luna intorno al Sole, con un andamento sinuoso, detta epicicloide

Un ulteriore movimento cui è sottoposta la Luna è quello che coinvolge l'intero Sistema solare nel suo moto all'interno della nostra galassia verso la costellazione di Ercole. Si hanno poi moti secondari che sono conseguenza dell'attrazione degli altri corpi del Sistema solare, soprattutto del Sole, il cui effetto principale è un spostamento in senso retrogrado della linea che congiunge i punti d'intersezione tra piano dell'eclittica e piano dell'orbita lunare, con un periodo di 18,6 anni.

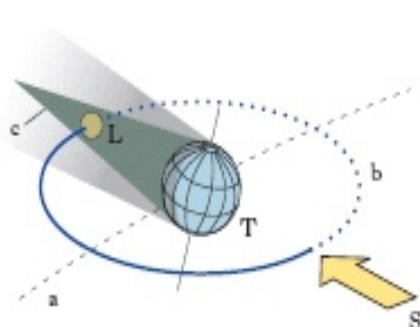
Le eclissi

Nel sistema Luna-Terra-Sole, durante il movimento dei tre corpi, quando questi sono allineati si creano le condizioni per l'oscuramento temporaneo di un corpo da parte di un altro: si parla in tal caso di *eclissi*. La



La Luna e la Terra, illuminate nell'emisfero rivolto verso il Sole, proiettano in direzione opposta un *cono d'ombra*, che si chiude a una certa distanza e nasconde totalmente la visuale del Sole e un *cono di penombra* che si apre allontanandosi dal corpo celeste ed eclissa parzialmente la luce solare (fig.3).

fig.3 Eclissi solare (in alto) e lunare (in basso)

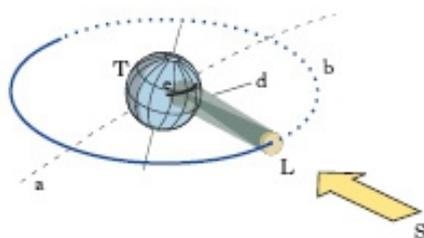


Le eclissi di Luna avvengono quando (fig.4) il cono *c* dell'ombra terrestre investe tutto (*eclissi totale*) o in parte (*eclissi parziale*) il globo lunare *L*; questo può accadere solo al momento dell'opposizione della Luna (plenilunio), quando essa si trovi in vicinanza di uno dei nodi della sua orbita.

fig.4 Rappresentazione schematica di eclissi totale di Luna: *a*, orbita della Terra; *b*, orbita lunare; *S*, direzione della luce dal Sole

Un'eclissi totale può durare al massimo 1 h e 40 minuti. Per effetto dell'atmosfera terrestre, i raggi solari sono in parte diffusi, rifratti, diffratti verso l'interno del cono, per cui la Luna, nell'eclissi totale, continua a essere più o meno visibile (a seconda della sua distanza dall'asse del cono d'ombra), assumendo una tipica colorazione rosso rame. Un'eclissi di Luna è visibile da tutte le località della Terra per le quali la Luna si trovi al disopra dell'orizzonte.

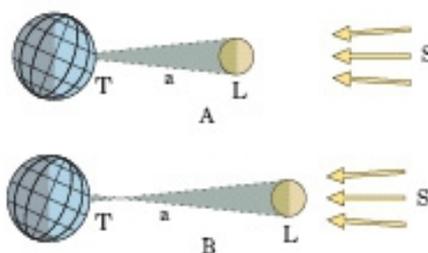
Le eclissi di Sole avvengono invece quando (fig.5) la Luna *L* s'interpone fra la Terra *T* e il Sole *S* e copre il disco luminoso di quest'ultimo interamente (*eclissi totale*) oppure in parte (*eclissi parziale*); questo può accadere soltanto nel momento della congiunzione della Luna con il Sole (novilunio), ove la Luna si trovi in prossimità di un nodo. A causa dei raggi e delle distanze del Sole, della Terra e della Luna, la Terra non può mai entrare tutta nel cono d'ombra lunare e quindi un'eclissi di Sole non può riguardare che una parte limitata della superficie terrestre.



La zona della totalità sulla Terra (per i punti di questa che appartengono alla zona di penombra *d*, l'eclissi è parziale) è molto ristretta: poiché l'ombra della Luna si muove sulla Terra a causa del moto di rotazione di questa, la zona di totalità si sposta sulla superficie terrestre descrivendo una fascia, *e*, larga poco più di 200 km, e in essa l'eclissi dura al massimo 7 minuti e mezzo.

fig.5 Rappresentazione schematica di eclissi di Sole; *S*, direzione della luce dal Sole

Nell'eclissi totale il disco lunare copre completamente, e quasi esattamente, il disco solare; ciò deriva dalla circostanza che il diametro angolare apparente dei due astri è pressoché uguale. Si ha il completo ricoprimento del Sole se, a parte le anzidette condizioni di posizione relativa degli astri, il diametro angolare della Luna è uguale o



maggiore di quello del Sole (fig.6A); se invece le condizioni per l'eclissi totale si verificano con la Luna all'apogeo e comunque quando il diametro angolare lunare è minore di quello solare, il ricoprimento non può essere totale: si ha eclissi anulare (fig.6B).

fig.6 Condizioni di eclissi di Sole totale (A) e anulare (B); *a*, cono d'ombra della Luna

Qualche istante prima dell'inizio della totalità possono apparire sul fondo solare le perle (o grani) di Baily, serie di piccoli punti neri, dovuti alle irregolarità del bordo lunare; la totalità fa poi apparire la corona e i pennacchi coronali, di colore biancastro, e le protuberanze solari, simili a grandi fiamme rossastre; si rendono pure visibili i pianeti e le stelle più luminose.

Se il piano dell'orbita lunare giacesse esattamente nel piano dell'eclittica, in ogni mese sinodico accadrebbero due eclissi, una di Sole al novilunio e una di Luna al plenilunio. Ma poiché questi due piani formano tra loro un angolo di circa 5° , le eclissi sono possibili soltanto quando la loro linea d'intersezione (linea dei nodi) coincide, oppure forma un angolo non superiore a un determinato valore, con la linea delle fasi lunari massime (novilunio e plenilunio). Tale coincidenza, o più generalmente tale avvicinamento delle due linee ricorre in due epoche critiche dell'anno, all'incirca ogni sei mesi; e in tali epoche quindi si addensano tutte le eclissi possibili in un dato anno. Le eclissi totali di Sole hanno offerto agli astronomi, nel corso dei secoli, un'occasione unica per studiare la corona solare, cioè la regione più esterna dell'atmosfera che circonda il Sole. La corona ha uno splendore paragonabile alla luce solare diffusa dall'atmosfera terrestre e quindi è troppo debole per essere vista in condizioni normali. Oggi siamo in grado di studiare la corona dallo spazio, ma per molto tempo solo le eclissi solari hanno permesso questo tipo di osservazioni. Proprio le misure effettuate durante le eclissi hanno consentito, per esempio, di osservare le grandi variazioni della corona durante i periodi di massima e minima attività solare. Un'eclissi solare è stata poi di fondamentale importanza per verificare la teoria della relatività generale. Il 29 maggio 1919 Sir Arthur Eddington, uno dei più importanti astrofisici britannici, poté misurare la deflessione della luce emessa dalle stelle confermando una delle previsioni della teoria della relatività generale di Einstein. Secondo Einstein, infatti, un raggio luminoso passando vicino al Sole si incurva e devia dal proprio percorso a causa della gravità solare.

La superficie lunare

La superficie della Luna (fig.7) consiste essenzialmente di due tipi di terreno: uno, relativamente chiaro, che riflette il 15-18% della luce solare; l'altro, più scuro, che ha una riflettività del 7-8%. Le zone chiare, che coprono circa il 70% dell'emisfero visibile da Terra, sono in generale più elevate e vengono perciò chiamate *altopiani*. Le zone oscure, più levigate, sono dette *mari*. Esse si trovano quasi esclusivamente nell'emisfero rivolto verso la Terra, sicché, nel complesso, costituiscono poco più del 15% della superficie lunare.

La diversa riflettività degli altopiani e dei mari dipende dalla loro differente

composizione chimica. Le rocce tipiche degli altopiani sono le anortositi, costituite principalmente da ossidi di silicio, alluminio, calcio e magnesio.



fig.7 Emisfero visibile della Luna (elaborazione elettronica di una sovrapposizione di due fotografie al primo e all'ultimo quarto). *Mari:* A, Oceanus Procellarum; B, Mare Australe; C, Mare Crisium; D, Mare Foecunditatis; E, Mare Frigoris; F, Mare Humboldtianum; G, Mare Humorum; H, Mare Imbrium; I, Mare Nectaris; J, Mare Nubium; K, Mare Serenitatis; L, Mare Smythii; M, Mare Spumans; N, Mare Tranquillitatis; O, Mare Undarum; P, Mare Vaporum; Q, Lacus Mortis; R, Lacus Somniorum; S, Sinus Aestuum; T, Sinus Iridum; U, Sinus Medii; V, Sinus Roris. *Monti:* a, Alpes; b, Altai; c, Apennini; d, Carpathi; e, Caucasus; f, Doerfel; g, Haemus; h, Harbinger; i, Jura; j, Pyrenaei; k, Rhiphaei; l, Roemer; m, Taurus; n, Tenerifa. *Crateri:* 1, Albategnius; 2, Alphonsus; 3, Archimedes; 4, Aristoteles; 5, Arzachel; 6, Atlas; 7, Catharina; 8, Clavius; 9, Copernicus; 10, Endymion; 11, Eratosthenes; 12, Eudoxus; 13, Fabricius; 14, Fracastor; 15, Fra Mauro; 16, Gassendi; 17, Grimaldi; 18, Guericke; 19, Kepler; 20, Longomontanus; 21, Maginus; 22, Plato; 23, Posidonius; 24, Ptolemaeus; 25, Schickard; 26, Stoeffler; 27, Theophilus; 28, Tycho

I mari sono costituiti da basalti, simili ai loro analoghi terrestri (salvo il fatto di essere più poveri di elementi volatili e più ricchi di ferro, titanio e magnesio).

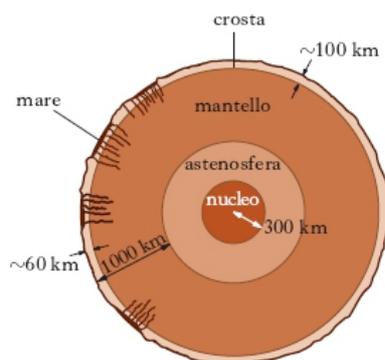
La superficie lunare è costellata da *crateri* di ogni dimensione. In passato sulla loro origine sono state formulate due ipotesi: l'ipotesi vulcanica, secondo cui i crateri si sarebbero formati (come le caldere terrestri) in seguito allo sprofondamento di vulcani spenti; e l'ipotesi degli impatti, secondo cui essi sarebbero stati scavati da meteoriti. Le missioni spaziali hanno dimostrato che i crateri da impatto costituiscono l'enorme maggioranza dei crateri lunari; ciò è indicato dalle caratteristiche morfologiche di molti di essi: per esempio, dalla loro struttura a 'raggi' (prodotta dai detriti scagliati intorno nell'impatto) e dalla presenza, intorno ai crateri maggiori, di crateri secondari più piccoli, scavati dai materiali espulsi nell'urto principale.

I crateri con diametri maggiori di 300 km vengono più propriamente chiamati *bacini*: ne sono stati identificati una trentina, anche se molti di essi sono strutture assai antiche, quasi completamente cancellate dagli impatti successivi. Nelle regioni polari sono stati individuati alcuni crateri, il cui fondo, per la posizione geografica e la profondità, non è mai illuminato dal Sole. Alcuni studiosi ritengono che qui, nel suolo, possano trovarsi quantità di acqua ghiacciata (che altrove, come è noto, è del tutto assente). Si tratterebbe di acqua depositata, attraverso centinaia di milioni di anni, dagli impatti delle comete (corpi ricchi di acqua e altre sostanze volatili), che non sarebbe sublimata, disperdendosi nello spazio, a causa delle bassissime temperature ivi esistenti. Quest'ipotesi è stata confermata dalle analisi effettuate dalle sonde spaziali.

L'intera superficie della Luna è ricoperta da uno spesso strato di pietre e polvere, chiamato *regolite*. La regolite è derivata dalla frammentazione delle rocce originarie a opera delle meteoriti. Pur essendo incoerente, questo materiale è abbastanza resistente (gli scarponi degli astronauti giunti sul nostro satellite vi affondavano soltanto per qualche centimetro).

Lo spessore del manto di regolite varia da una regione all'altra: nei mari esso è di 5-10 m, mentre negli altipiani può raggiungere i 100 m. Il rimescolamento del suolo lunare è un processo lentissimo: data l'assenza di agenti atmosferici esso è prodotto soltanto dalla caduta delle meteoriti; in media, l'accumulo di 2 m di regolite, data l'attuale intensità della 'pioggia' meteoritica, richiede circa un miliardo di anni. La componente più fine della regolite è una polvere consistente essenzialmente di minuscoli granelli di vetro. Il vetro, come è noto, si forma da un silicato fuso, che si raffreddi abbastanza rapidamente da non riuscire a cristallizzare. Nel caso della Luna, sono i continui impatti delle micrometeoriti a provocare la fusione di frammenti di roccia, che poi subito solidificano trasformandosi in vetro (sulla Terra questo fenomeno non si verifica per l'azione protettiva dell'atmosfera nella quale si dissolvono tutte le meteoriti più piccole).

Struttura interna della Luna



La struttura interna della Luna è rappresentata schematicamente nella fig.8: in essa si distinguono i tre strati principali: la crosta, il mantello e l'astenosfera.

[fig.8](#) Struttura interna della Luna

La crosta è più sottile dalla parte della Terra, dove in media è spessa circa 60 km, che non sul lato opposto, dove è spessa circa 100 km; in essa sono inglobati i mari, aventi uno spessore di 5-20 km. Il mantello, di uno spessore medio di poco inferiore a circa 1000 km, è costituito da materiali (peridotiti) di maggiore densità ($3,3 \text{ g/cm}^3$). Sotto il mantello è l'astenosfera, che probabilmente ha una composizione chimica simile a quella del mantello, ma dove le rocce si trovano in uno stato semifuso (ciò è dimostrato dal fatto che le onde sismiche trasversali subiscono forti attenuazioni quando attraversano questo strato). Le incertezze maggiori riguardano la regione più interna della Luna. Non è chiaro, infatti, se questa possieda, come la Terra, un nucleo di ferro e nichel; se esiste, esso è certamente molto piccolo, dato il basso valore della densità media.

La Luna è stata sede, nel passato, di una intensa attività vulcanica. I mari, infatti, altro non sono che immense colate laviche, che hanno riempito i grandi bacini, scavati in precedenza dall'impatto delle meteoriti. L'attività vulcanica più intensa ebbe luogo fra 3,9 e 3,2 miliardi di anni fa, come testimoniato dall'età delle rocce basaltiche che costituiscono i mari. All'azione della lava viene anche attribuita la formazione delle valli sinuose, dette *rill*. Probabilmente si tratta di canali di lava sotterranei che, svuotatisi, sarebbero crollati dando origine alle valli. Riguardo all'origine del vulcanismo lunare, si pensa che il magma eruttato provenisse da zone situate a profondità di 100-400 km.

Origine della Luna

La Luna costituisce un caso anomalo nel Sistema solare. La Terra, infatti, è l'unico pianeta interno a possedere un satellite così grande: Mercurio e Venere non ne hanno, mentre Marte ne ha due, ma piccolissimi. Solo corpi giganteschi come Giove, Saturno o Nettuno, hanno satelliti grandi quanto la Luna. Sono state proposte diverse teorie per spiegare l'origine del nostro satellite: a) *l'ipotesi della fissione*, secondo la quale in origine si sarebbe formato un unico pianeta, la Terra; la Luna si sarebbe poi distaccata dalla Terra, mentre questa ruotava più velocemente di oggi ed era ancora in uno stato semifluido; b) *l'ipotesi del pianeta doppio*, secondo la quale la Terra e la Luna si sarebbero formate in modo autonomo e simultaneamente, nel luogo ove oggi si trovano, per 'accrezione' (cioè aggregazione) del materiale della nebulosa primordiale; c) *l'ipotesi della cattura*, secondo la quale la Luna si sarebbe formata in qualche altra regione del Sistema solare (o addirittura al di fuori di esso) e sarebbe poi passata nelle vicinanze della Terra, facendosi catturare dal campo gravitazionale di questa; d) *l'ipotesi della precipitazione*, che mette insieme elementi delle ipotesi della fissione e dell'accrezione binaria e in base alla quale durante la fase di aggregazione di particelle la Terra avrebbe sviluppato una densa atmosfera attorno a essa, con i vapori generati disposti a disco e successivamente condensatisi in polveri che a loro volta avrebbero formato la Luna.

Ciascuna di queste teorie si imbatte in serie difficoltà. Per esempio, l'ipotesi della fissione sembrò inizialmente essere avvalorata da due fatti: la quasi coincidenza fra la densità della Luna e quella degli strati esterni della Terra e il lento moto di allontanamento della Luna dalla Terra (moto causato dalle forze mareali che agiscono fra i due corpi). Tuttavia, ricerche più recenti hanno messo in evidenza che la Luna ha una composizione chimica significativamente diversa da quella del mantello terrestre (per es., è più ricca di titanio).

Un'ipotesi che ha guadagnato parecchi consensi è una variante della teoria della fissione, secondo la Terra, ai primordi della sua storia, sarebbe stata investita da un corpo celeste delle dimensioni di Marte. Parte dei materiali espulsi nell'impatto (specie quelli più volatili) sarebbero andati dispersi nello spazio; altri invece, rimasti in orbita intorno alla Terra, si sarebbero successivamente aggregati, formando la Luna (fig.9). In questo trasferimento di materiale, non tutti gli elementi volatili e l'acqua sarebbero

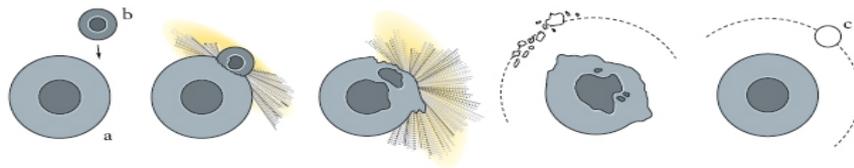
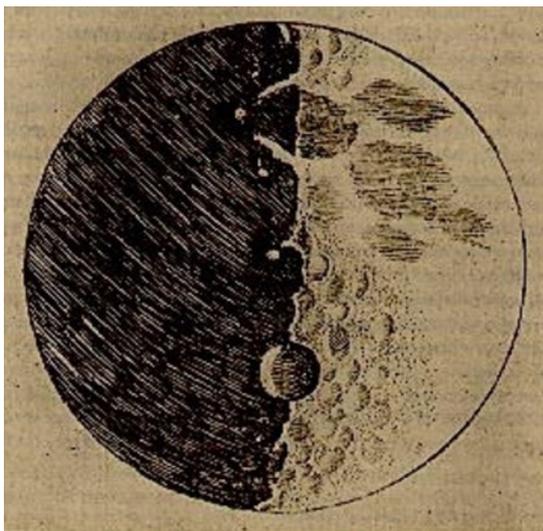


fig.9 Sequenza ipotizzata per la formazione della Luna in base alla teoria dell'impatto (o catastrofica): a, Terra; b, meteorite; c, Luna

andati persi nello spazio, e ciò spiegherebbe la scoperta di molecole d'acqua intrappolate nel magma cristallizzato dentro le pietre lunari, che sarebbero di origine terrestre.

Osservazioni da Terra ed esplorazione diretta della Luna

La Luna è stata osservata con grande interesse fin dalla più remota antichità. I Greci furono fra i primi a indagare sulla natura di questo corpo celeste. Già i filosofi della Scuola eleatica (5° sec. a.C.) e forse, ancor prima di loro, Anassimene da Mileto (6° sec. a.C.) si erano resi conto che la Luna non brilla di luce propria, ma si limita a riflettere quella del Sole. Uno dei risultati più brillanti dell'astronomia greca fu ottenuto da Ipparco (2° sec. a.C.); questi, con un metodo proposto in precedenza da Aristarco di Samo, riuscì a misurare la distanza Terra-Luna, ottenendo un valore (386.000 km) che differisce di appena 1400 km da quello oggi accettato. Tra i romani va ricordato Plutarco (2° sec. d.C.) che, osservando le macchie che appaiono sul disco lunare, capì che la Luna rivolge verso la Terra sempre lo stesso emisfero e che la sua superficie non è 'liscia', ma tormentata da valli e montagne.



Furono le osservazioni al telescopio, iniziate da Galileo nel 1609, a rivelare in modo inequivocabile le caratteristiche del suolo lunare. Galileo stesso vi individuò catene montuose, vallate, crateri e vaste regioni oscure, che chiamò mari (latino *maria*), per la loro apparente rassomiglianza agli oceani terrestri.

fig.10 La superficie lunare in uno dei disegni di Galileo

Nei secoli successivi, gli astronomi, servendosi di telescopi sempre più potenti, giunsero a produrre carte notevolmente dettagliate della topografia lunare. Venne anche introdotta, a cominciare da G.B. Riccioli (1651), la nomenclatura, usata ancora oggi, per indicare le varie strutture lunari: i nomi latini dei mari (per es., *Mare Imbrium*, *Oceanus Procellarum*, *Mare Serenitatis*, *Mare Tranquillitatis*) e dei crateri (questi ultimi scelti, in generale, fra nomi di scienziati famosi: Aristarco, Copernico, Ipparco, Keplero ecc.). Le osservazioni telescopiche si rivelarono però inadeguate per stabilire la reale natura e l'origine di molte strutture osservate, come i mari e i crateri. Progressi sostanziali in questa direzione si ebbero soltanto con l'avvento dei veicoli spaziali.

L'esplorazione diretta della Luna fu iniziata dall'Unione Sovietica. Le prime sonde a visitare la Luna furono Lunik I (il primo oggetto fabbricato dall'uomo a sfuggire all'attrazione terrestre), Lunik II e Lunik III. Ai successi sovietici fece, inizialmente, riscontro una serie di fallimenti delle missioni spaziali statunitensi: solo fra il 1964 e il 1965 la Luna venne raggiunta dalle sonde Ranger VII, Ranger VIII e Ranger IX che,

prima di schiantarsi al suolo, trasmisero fotografie della superficie lunare da distanza ravvicinata, esami poi approfonditi nel 1966-67 dalle sonde Lunar Orbiter. Intanto gli Stati Uniti fin dal 1961 si erano impegnati nel progetto Apollo, che avrebbe dovuto portare, entro la fine degli anni Sessanta, un uomo sulla Luna. Ci limitiamo qui a ricordarne le tappe essenziali. Dopo alcuni voli di prova senza uomini a bordo e un volo circumterrestre con tre astronauti (Apollo 7, ottobre 1968), nel dicembre del 1968 fu lanciato Apollo 8, che portò per la prima volta tre astronauti in orbita intorno alla Luna. Seguirono altri due lanci di prova e il 20 luglio 1969 il modulo lunare dell'Apollo 11 si posò sul *Mare Tranquillitatis*; da esso scesero due astronauti (N. Armstrong e poi E. Aldrin) che, nel corso della loro passeggiata lunare, durata circa 2 ore e mezzo, scattarono fotografie, raccolsero campioni di rocce e misero in opera esperimenti scientifici, destinati a funzionare anche dopo la loro partenza. Le missioni successive portarono astronauti in zone diverse della Luna e permisero esperimenti sempre più complessi. Con il rientro dell'equipaggio di Apollo 17 (19 dicembre 1972), si concluse il programma esplorativo delle missioni Apollo. Nel 1994 la sonda americana Clementine ha ottenuto la mappa topografica di quasi tutta la superficie lunare.

Una nuova fase di esplorazione lunare è iniziata nei primi anni del 21° sec., con l'invio di missioni, oltre che dagli Stati Uniti, dalla Cina, dal Giappone e dall'India. Nel 2003 è stata lanciata la sonda spaziale europea SMART (*Small Missions for Advanced Research in Technology*), che ha concluso la sua attività nel settembre 2006: è stata ottenuta una mappa della superficie lunare nella banda dei raggi X e dell'infrarosso, ed è stata analizzata la composizione chimica della superficie del satellite tramite spettroscopia a raggi X. Nel 2009 gli strumenti montati a bordo di tre sonde (l'indiana Chandrayaan-1 e quelle della NASA Cassini ed Epoxi) hanno rivelato sulla superficie del satellite, in particolare nelle zone vicine ai poli, molecole d'acqua allo stato solido e di idrossile.

Fra le ultime missioni dirette sul nostro satellite, vanno ricordate quella cinese Chang'e la quale oltre ad aver avuto lo scopo di ottenere immagini ad alta risoluzione del nostro satellite hanno l'obiettivo di esplorare la superficie lunare con appositi robot il primo dei quali è atterrato sulla Luna nel dicembre 2013.

I due veicoli invece che compongono la missione GRAIL (*Gravity Recovery and Interior Laboratory*) della NASA, giunti sulla Luna a cavallo tra il 2011 e il 2012, ne hanno studiato il campo gravitazionale e la struttura geologica.