



*Ministero dell'Istruzione
dell'Università e Ricerca*



XV OLIMPIADI ITALIANE DI ASTRONOMIA – CREMONA 2017

23 novembre 2016

Prof. Angelo Angeletti



La Luna



PROGRAMMA

- Alcune caratteristiche fisiche
- Le strutture lunari
- I miti lunari
- Rappresentazioni della luna
- Galileo Galilei
- Dopo Galileo
- L'esplorazione spaziale



Caratteristiche fisiche

LE DIMENSIONI



12.756 km

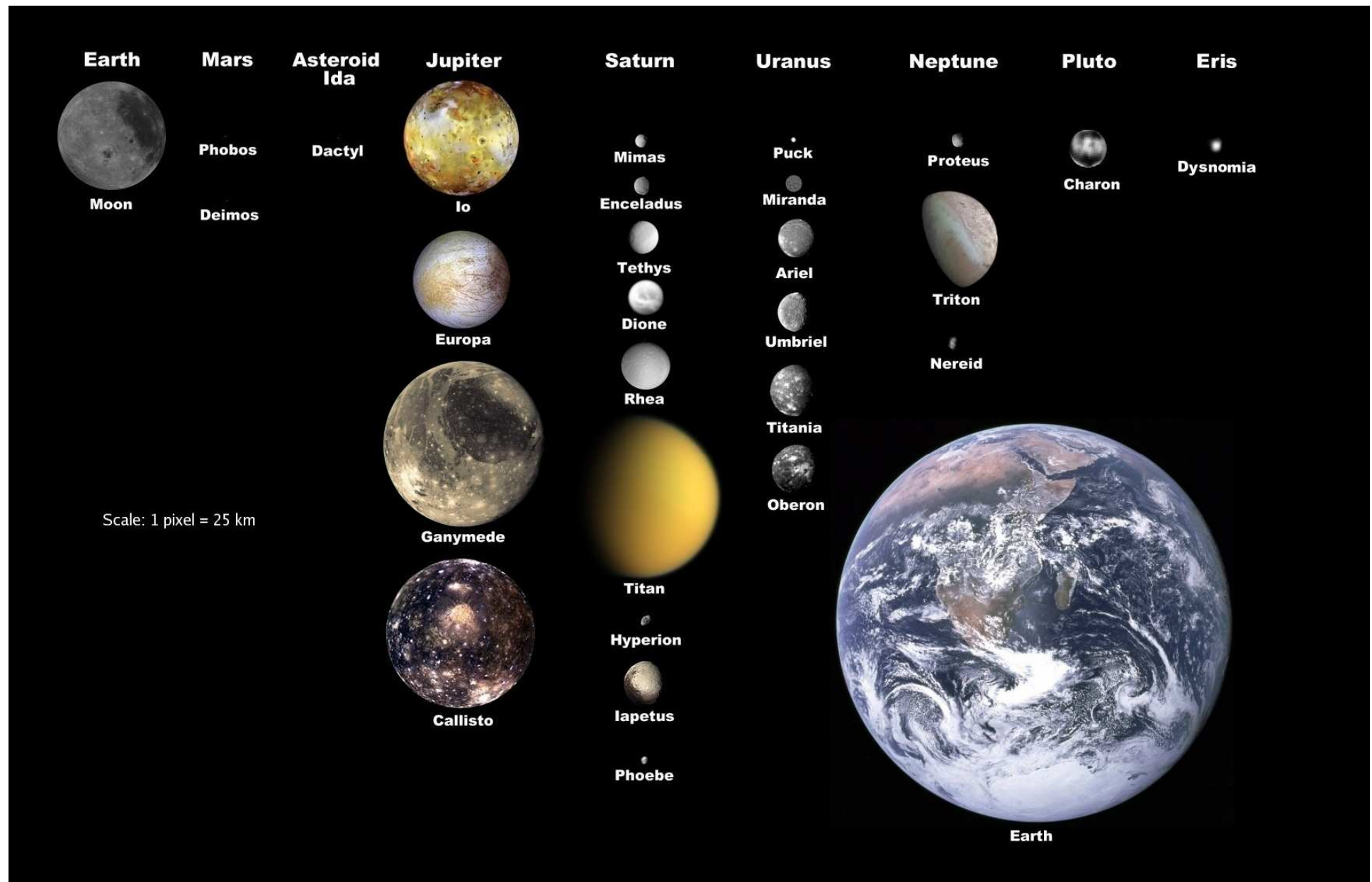


3.475 km

CARATTERISTICHE FISICHE

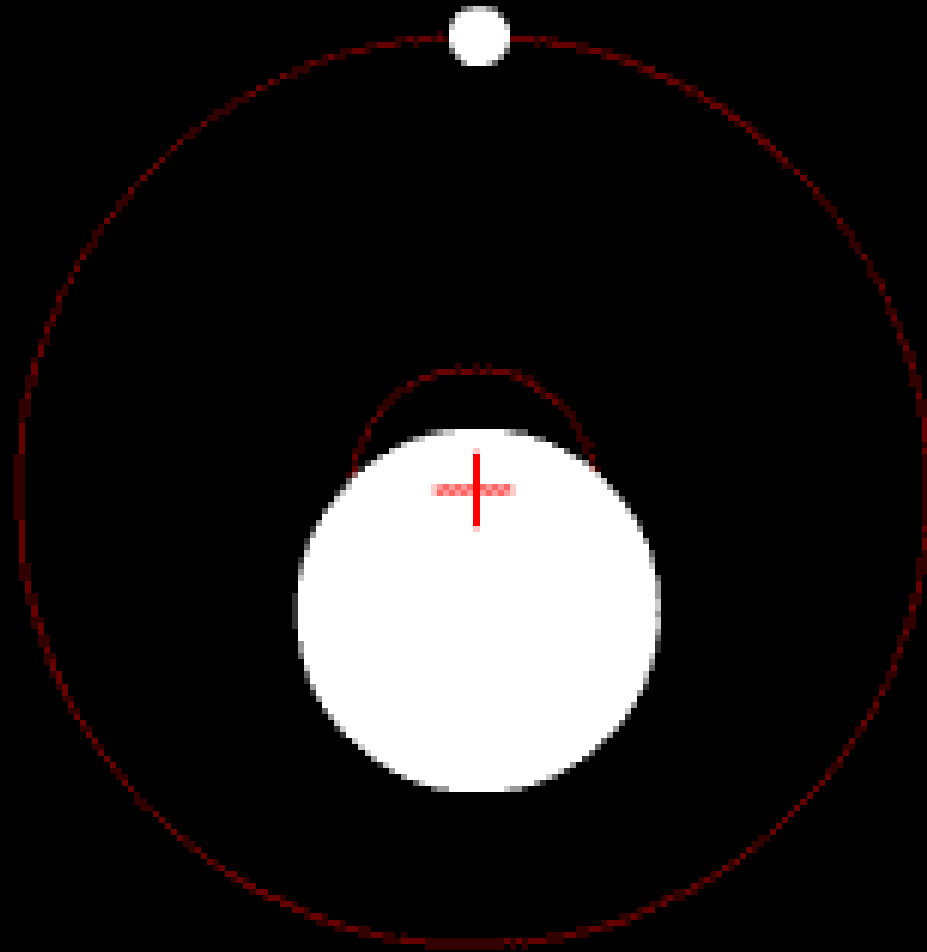
Massa (kg)	7.349x10 ²²	Inclinazione dell'asse (°)	1,5424
Diametro (km)	3.475	Inclinazione orbitale (°)	5,1454
Densità (g/cm ³)	3,34	Gravità (m/s ²)	1,62
Distanza media dalla Terra (km)	384.400	Albedo medio	0,12
Periodo orbitale (giorni)	27,32166	Temperatura media superficiale(giorno)	107°C
Giorno lunare medio (giorni)	29,53059	Temperatura media superficiale (notte)	-153°C
Velocità orbitale media (km/sec)	1,03	Temperatura superficiale massima	123°C
Eccentricità orbitale	0,0549	Temperatura superficiale minima	-173°C

LE LUNE DEL SISTEMA SOLARE CONFRONTO CON LA TERRA



CARATTERISTICHE FISICHE

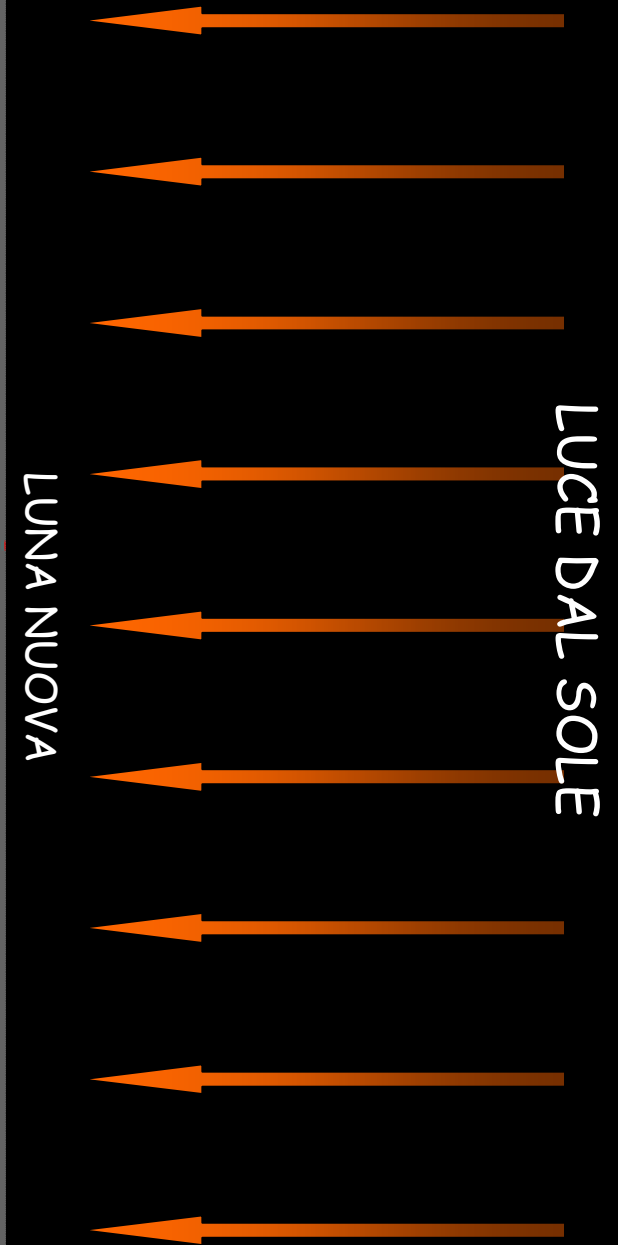
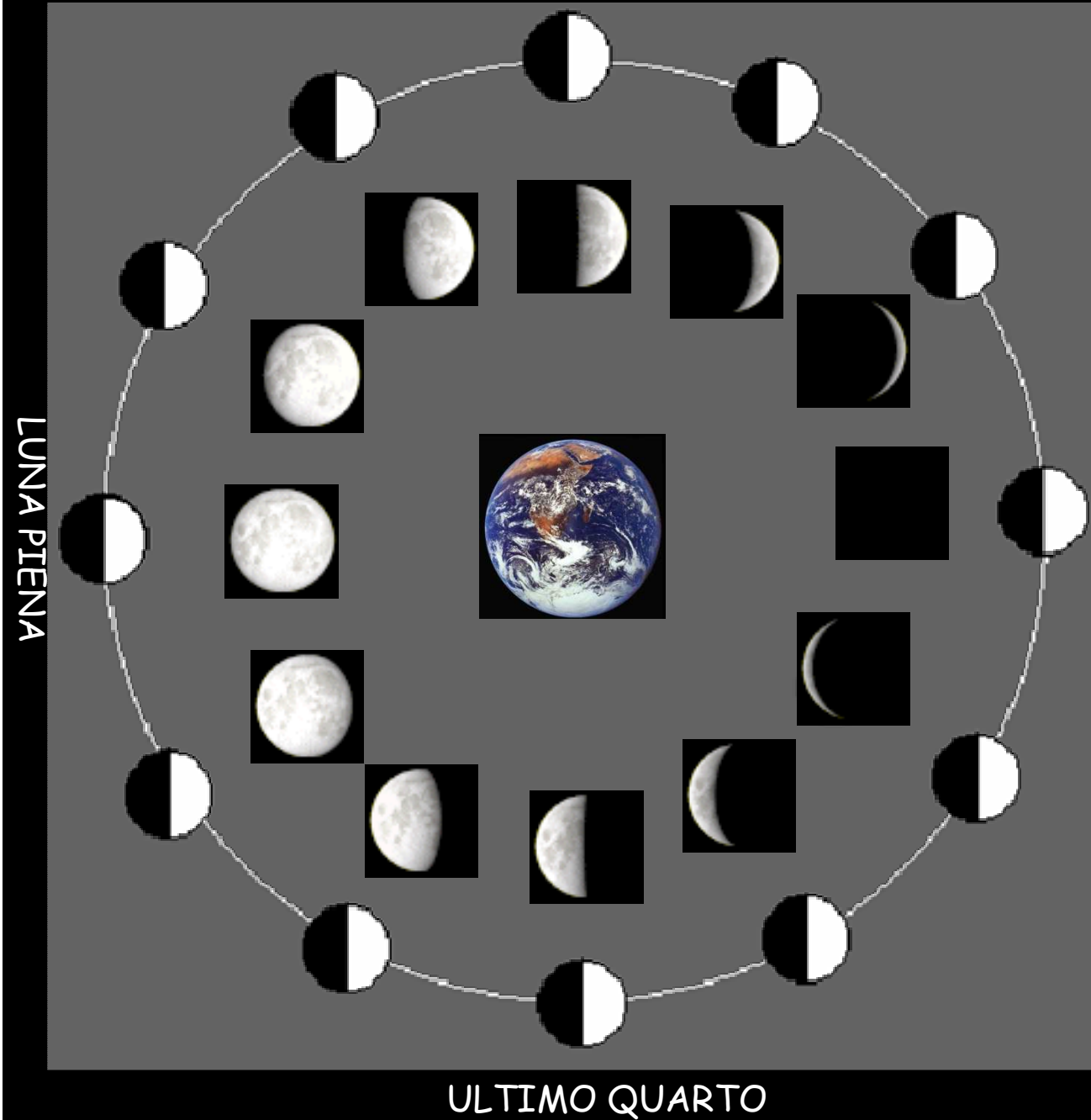
Il baricentro del sistema Terra-Luna è a ~1.700 km al di sotto della superficie terrestre

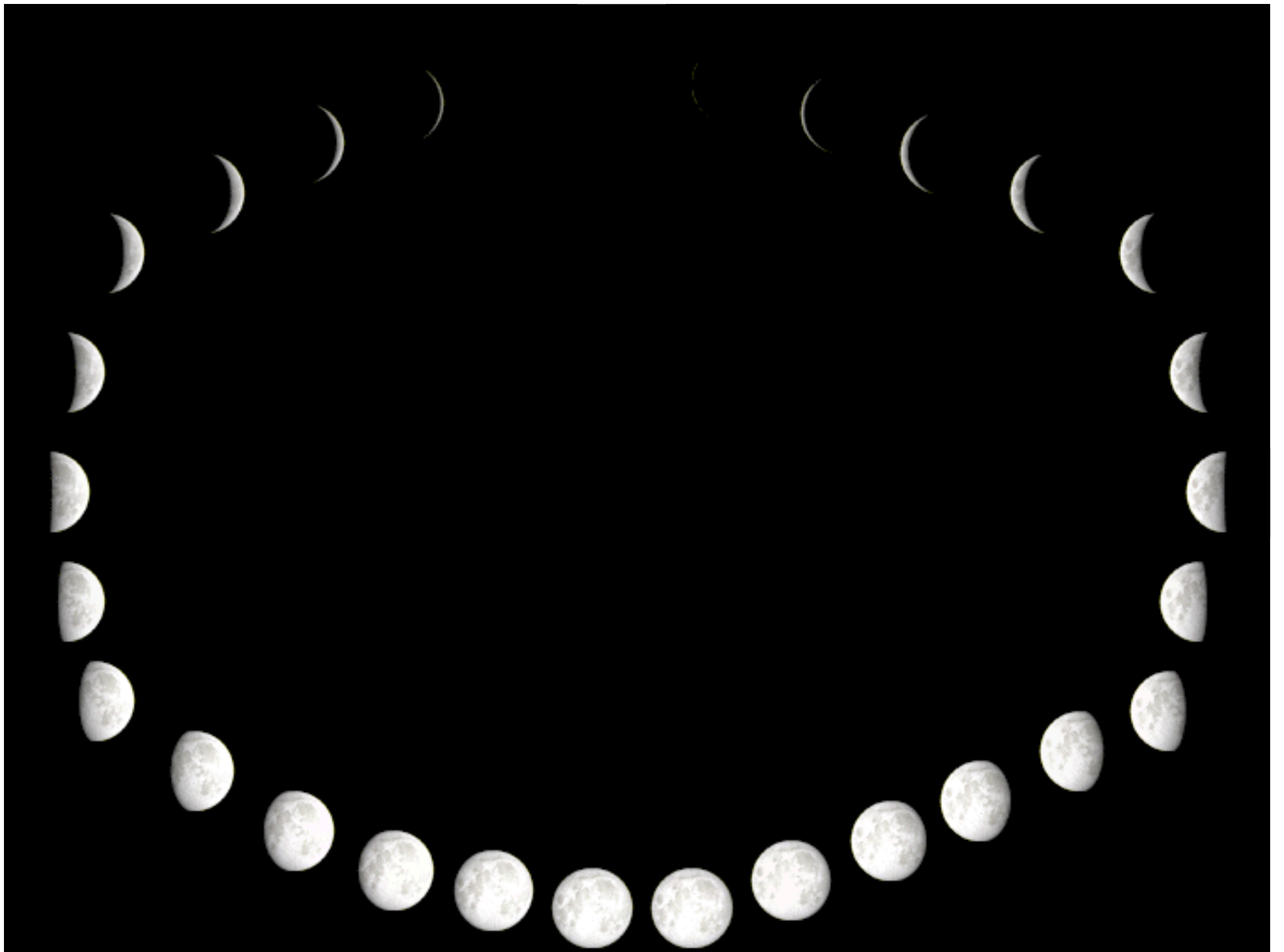


CARATTERISTICHE FISICHE

L'orbita della Luna

LE FASI LUNARI







Le strutture lunari

L'origine della Luna

Diverse ipotesi sono state fatte nel corso degli anni, ma alcune sono state escluse a causa dei limiti posti dai dati di tipo geofisico e dinamico.

Cattura: questa ipotesi, secondo cui la Luna è un oggetto catturato dalla Terra è poco probabile. Infatti, un incontro ravvicinato di un corpo grande come la Luna porterebbe alla collisione Terra-Luna, oppure allo spostamento della Luna su un'orbita circumsolare diversa.

Fissione: secondo questa ipotesi la Luna si sarebbe formata da una massa staccatasi dalla Terra a causa del suo moto di rotazione molto veloce. Non ci sono spiegazioni per cui la Terra avrebbe dovuto ruotare così velocemente e perché ora sarebbe rallentata, ma questo modello può spiegare alcune differenze di composizione tra Terra e Luna.

Pianeta doppio: in questo caso Terra e Luna si sarebbero formate contestualmente. I problemi di questa ipotesi sono l'elevato momento angolare del sistema Terra-Luna e del perché il materiale che andò a formare la Luna sarebbe rimasto in orbita intorno alla Terra senza ricadervi sopra.

Impatto catastrofico

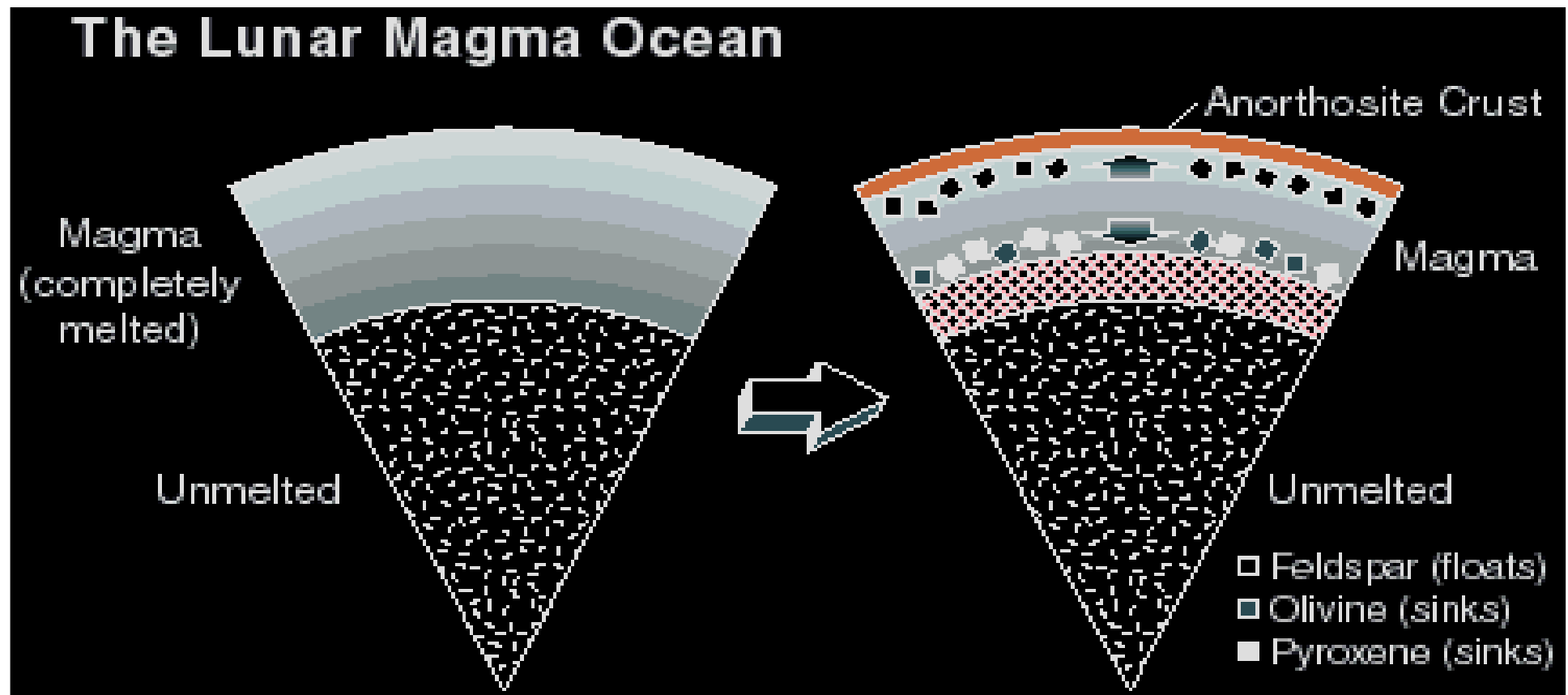


Le moderne teorie sulla formazione del Sistema Solare prevedono che circa 4,5 miliardi di anni fa (tra 30 e 50 milioni di anni dopo la formazione del Sistema Solare) nella regione di spazio occupata dalla Terra poteva esserci un oggetto delle dimensioni di Marte, che avrebbe finito per impattare contro la Terra non ancora completamente formata.

La collisione avrebbe espulso enormi quantità di materiale in orbita intorno alla Terra e la Luna si sarebbe formata dall'aggregazione di questi detriti.

Questa ipotesi è in grado di spiegare alcune proprietà, come il basso contenuto in ferro della Luna e il fatto che il suo rapporto Fe/Mg complessivo è analogo a quello del mantello terrestre.

L'evoluzione



La prima fase successiva all'accrescimento del materiale in orbita terrestre sarebbe consistita nella formazione di un oceano di magma.

Non si sa quanto profondo, ma non meno di 500 km.

La fase dell'oceano di magma sarebbe terminata circa 4,4 miliardi di anni fa.

CRONOLOGIA

La crosta rappresenta una registrazione della storia del bombardamento meteoritico subito dalla Luna sin dalla sua formazione, dovuto ai detriti “avanzati” dai processi di accrescimento planetario.

Circa 4,4 miliardi di anni fa la zona esterna era fusa a causa del calore generato nella formazione e per gli impatti.

Insieme alla crosta si sarebbero formati altri tipi di magma all'origine delle rocce che si trovano sugli altipiani lunari (**highlands**). Questi magma si sarebbero infiltrati nella crosta formando rocce di tipo diverso. Questa fase sarebbe terminata circa 4 miliardi di anni fa.

Durante queste prime fasi, i detriti rimasti fuori dal processo di formazione planetaria continuarono a bombardare la Luna: la crosta fu mescolata fino ad una profondità di alcuni km. La frequenza degli impatti sarebbe diminuita tra 4,5 e i 4 miliardi di anni fa, ma in seguito aumentò drammaticamente, producendo la maggior parte dei bacini di impatto ora osservabili sulla Luna.

Questa fase di bombardamento catastrofico sarebbe avvenuta tra 4,0 e 3,85 miliardi di anni fa.

CRONOLOGIA

Il riscaldamento causato da questa fase di bombardamento portò ad un periodo di intensa attività vulcanica (3,8-3,1 miliardi di anni fa).

I flussi di lava associati alla frattura della crosta indotta dagli impatti e al conseguente vulcanismo riempirono i crateri e le zone più basse. Solidificando, divennero i piatti e scuri **mari** con pochi crateri, poiché la maggior parte dei crateri originali erano stati ricoperti dalle lave e solo pochi proiettili successivamente colpirono la Luna.

Le regioni non ricoperte dalle lave sono le **highlands**: queste sono molto craterizzate e formate da rocce diverse dai mari.

Il vulcanismo terminò circa 3,1 miliardi di anni fa: la Luna da allora si può considerare geologicamente “morta“, a parte qualche “lunamoto” di bassa intensità o rari efflussi di gas di natura vulcanica.

La Luna come ci appare

La Luna mostra alla Terra sempre la stessa faccia.

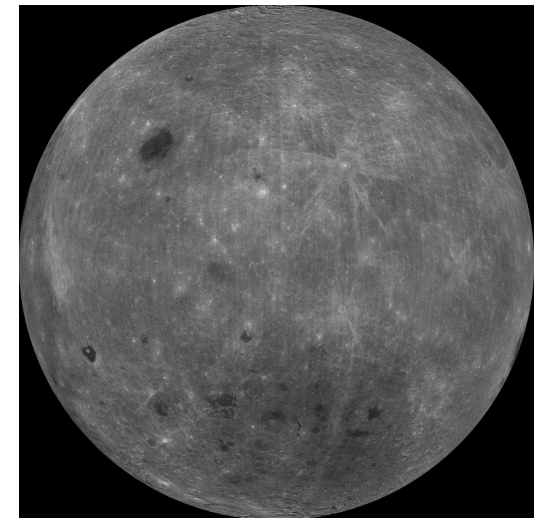
La faccia che ci appare dalla Terra (*near-side*) è molto diversa da quella invisibile (*far-side*) dove quasi non esistono mari.

La superficie è divisa in *highlands* (altopiani), zone in rilievo e chiare, e zone più scure e basse dette *mari*.

Il materiale che dei mari è formato da lava solidificata.

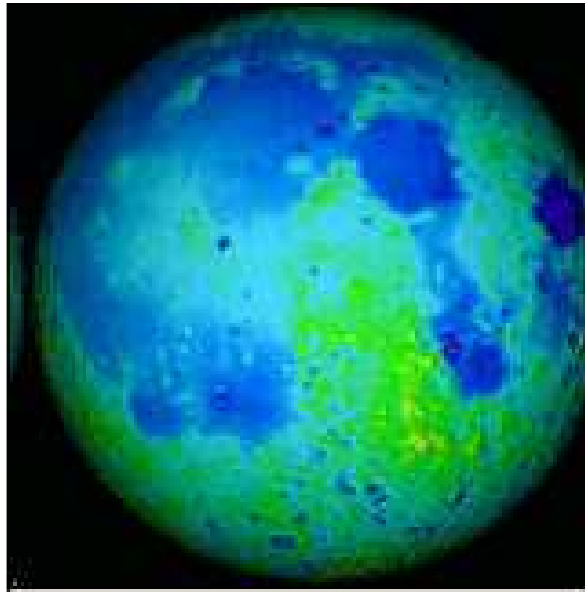
Sia i mari che le highlands mostrano larghi crateri risultato di impatti meteoritici, ma quest'ultime appaiono più craterizzate: sono regioni più antiche.

near-side



far-side

TOPOGRAFIA



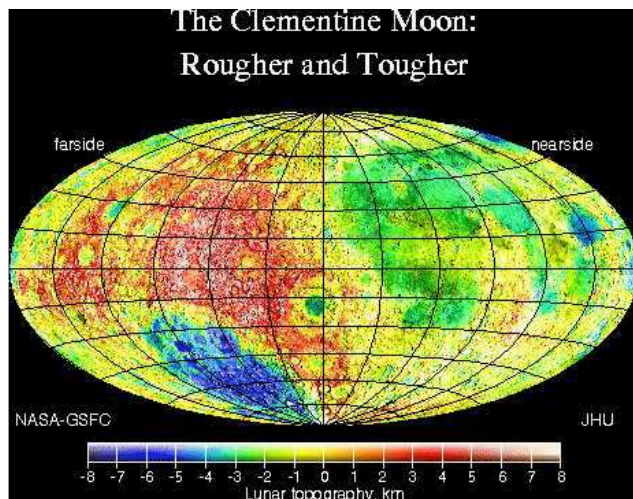
La caratteristica topografica più evidente è la dicotomia tra near/far. Il far-side ha elevazione media più alta del near-side di $\sim 1,9$ km.

La topografia a larga scala è dominata da due giganteschi bacini separati da highland.

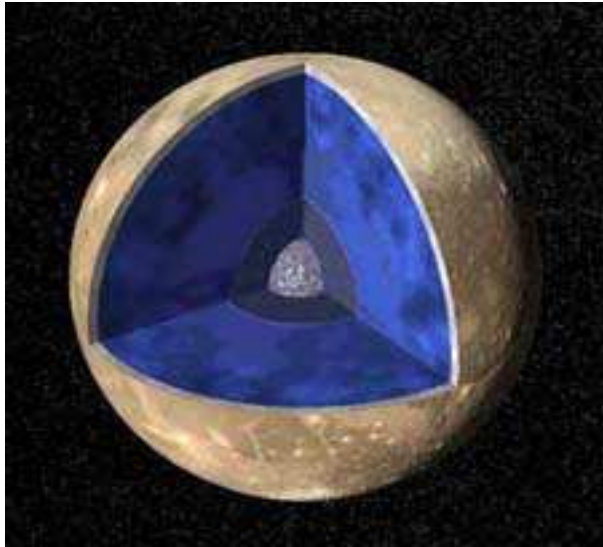
La zona più bassa è quella del Polo Sud e la più larga, ma meno profonda, copre la maggior parte del zona centrale e nord del near-side.

Questo bacino potrebbe essere stato causato da un singolo impatto, da molti, oppure da processi legati all'oceano di magma.

I dati topografici e gravimetrici indicano una crosta più spessa nel far-side (100 km invece di 60 Km). Questo potrebbe essere dovuto al processo di evoluzione dell'orbita lunare.



Struttura interna



Non si conosce molto del magnetismo lunare. Sebbene il campo magnetico sia stato sempre molto debole e lo è tuttora, vi sono piccole aree che hanno un magnetismo maggiore delle zone circostanti., Queste anomalie magnetiche non sono ben capite: alcuni le associano agli effetti degli impatti giganti che avrebbero formato i bacini.

La Luna non sembra essere geologicamente attiva.

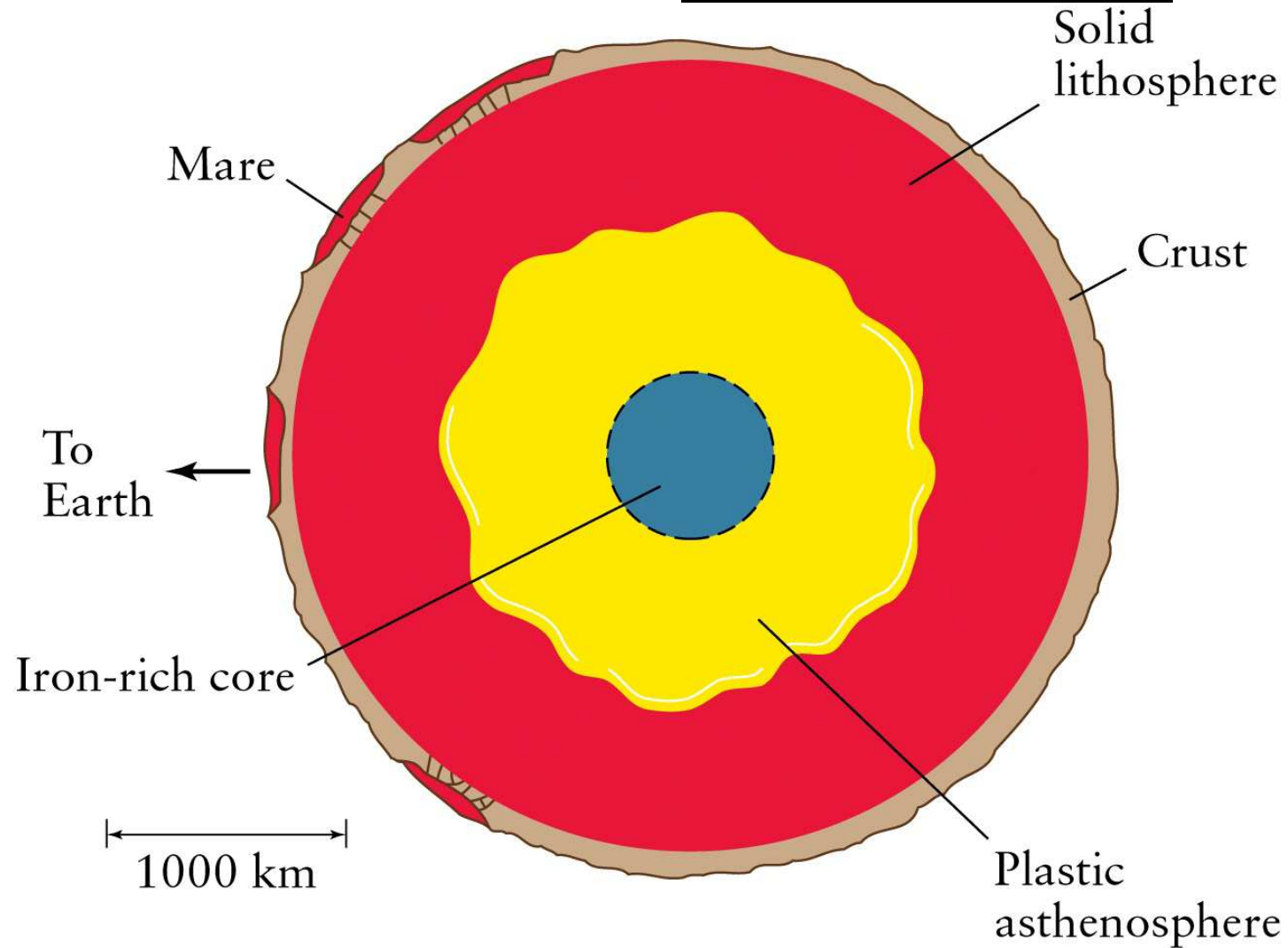
Lo spessore della crosta varia tra 60 – 70 km sul near-side fino a 100 – 150 km sul far-side.

Al di sotto della crosta si trova il mantello lunare che rappresenta la parte più consistente della Luna.

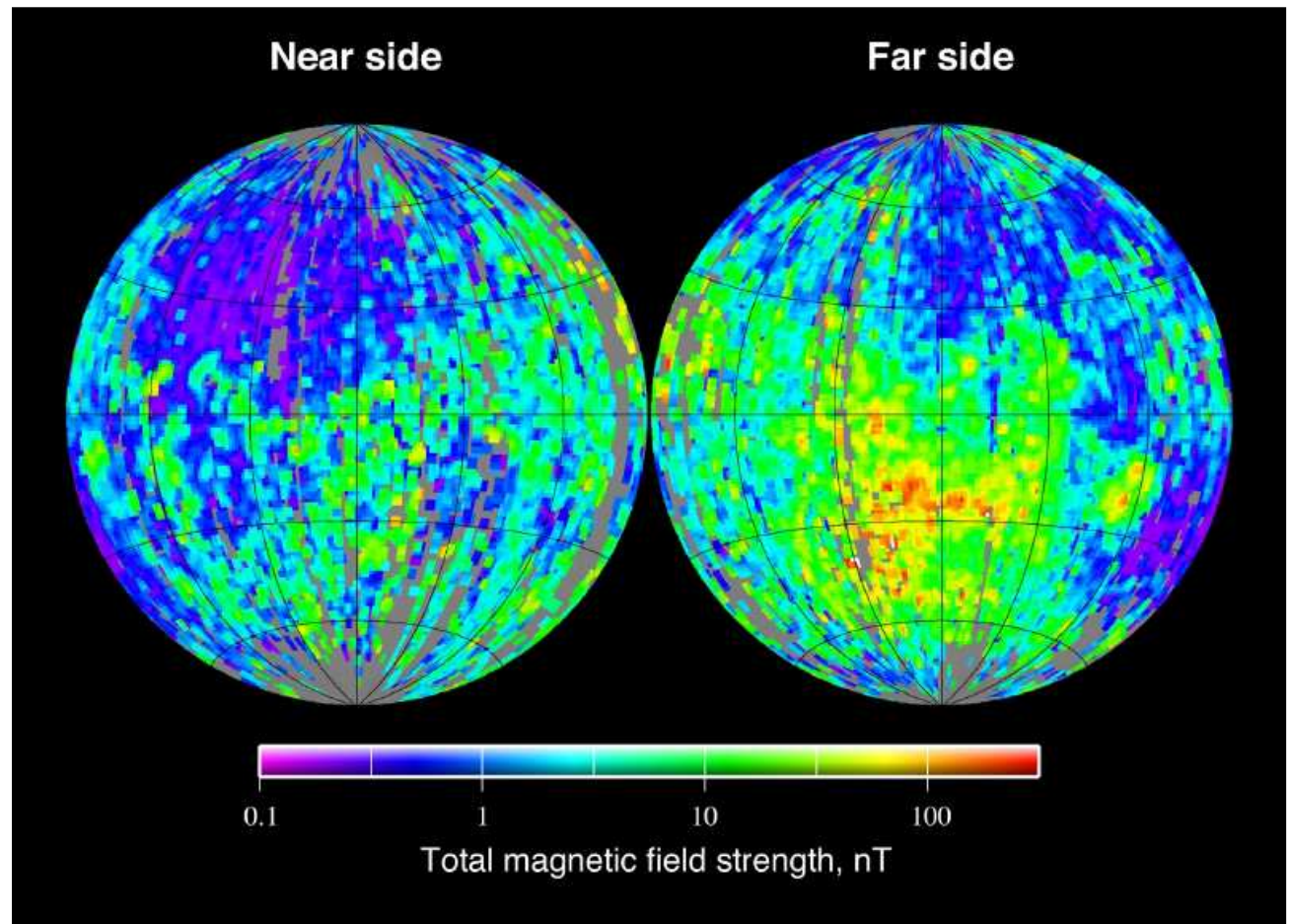
Al di sotto il mantello si trova il nucleo composto di ferro. Le dimensioni di questo sono molto incerte con stime che vanno dai 100 ai 400 km.

Struttura interna

*La crosta dell'emisfero
far-side è più spessa
rispetto alla near-side*



Campo magnetico



La Luna non ha un vero campo magnetico (il nucleo metallico non genera magnetismo), ma lo aveva in passato.

Le rocce lunari sono magnetizzate e quelle più antiche lo sono in misura maggiore, indicando un più intenso magnetismo nel passato: il motivo di ciò è ancora da scoprire.

Gli altipiani

Le highlands sono regioni sia del [near-side](#) che del [far-side](#) e rappresentano l'antica crosta lunare e sono costituite da una roccia detta **anortosite**, una roccia bianca ricca di calcio.



Una spiegazione sulla presenza di anortosite sulla superficie lunare richiede che la Luna un tempo sia stata fusa. I minerali più pesanti sarebbero andati verso il fondo, andando a formare l'interno della Luna.

Le highlands sono saturate da crateri da impatto, che vanno dai più piccoli visibili nelle fotografie (1 m) a più di 1.000 km.

I mari

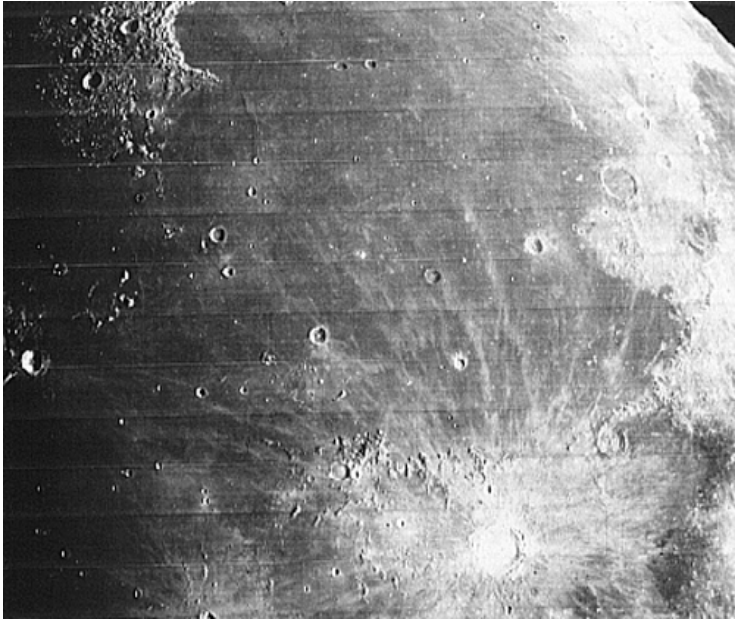


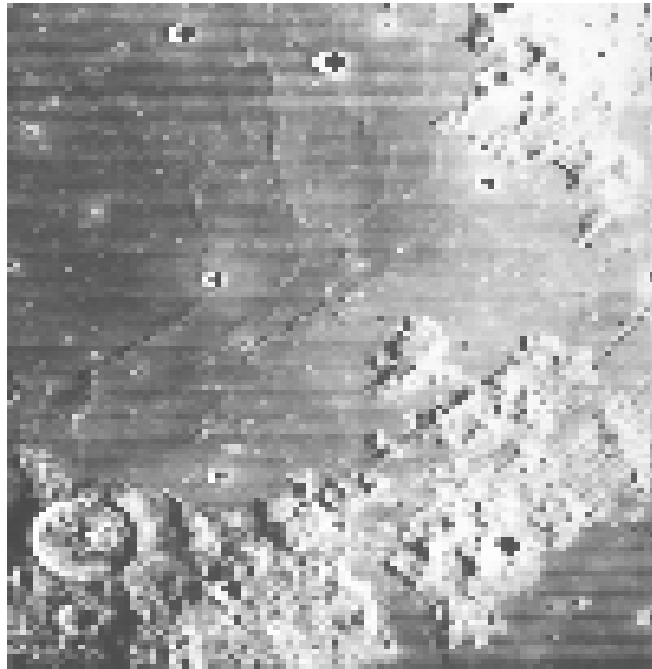
Immagine che mostra il Mare Imbrium e il cratere Copernicus, il più evidente con i suoi raggi chiari di materiale eiettato.

I mari coprono circa il 16% della superficie lunare (~2% far-side, ~31% near-side) e sono composti da lave che hanno riempito le aree più depresse, la maggior parte all'interno di immensi bacini da impatto.

I mari riempiono molti dei grandi bacini da impatto, ma non sono la conseguenza di questi impatti.

Infatti, sono notevolmente più giovani dei bacini in cui risiedono.

Bacini da impatto



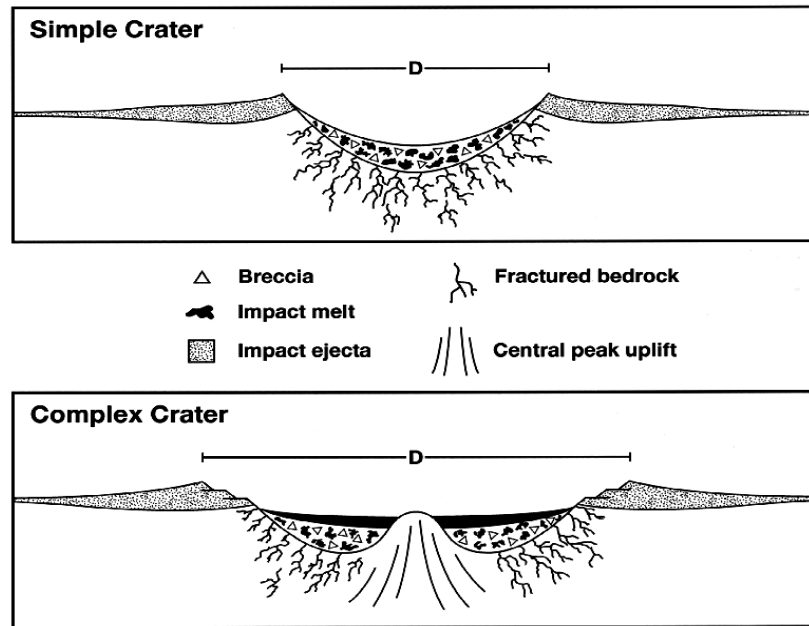
Strutture con diametro maggiore di 300 km sono dette bacini da impatto e sulla Luna che ne sono più di 40.

Man mano che una struttura da impatto cresce di dimensioni diventa sempre più complessa e si passa da crateri con picco centrale a strutture con anelli concentrici.

Il materiale espulso nella formazione di tali bacini è stato distribuito su un'ampia superficie e può essere utilizzato nell'analisi delle strutture geologiche.

Se un cratere o un'altra struttura si trova su tali materiali, allora la struttura in questione è più recente del bacino. Oppure se una struttura è parzialmente coperta dal materiale espulso allora è più antica. Analizzando queste relazioni è possibile derivare una generale idea della storia geologica della luna e datare la sua superficie.

Bacini da impatto



La maggior parte del materiale espulso dal cratere viene depositato intorno al cratere stesso. Vicino al cratere si formano dei depositi spessi e continui, mentre a distanze maggiori i materiali espulsi possono trovarsi in addensamenti discontinui. Alcuni materiali possono formare crateri secondari quando ricadono sulla superficie.

Generalmente un impatto ad alta velocità produce crateri 10 - 20 volte più grandi del diametro dell'impattore. La forma dettagliata del cratere dipende dalla sua dimensione. In figura si trovano due sezioni di crateri: semplice (sopra), e complesso (sotto).

Il materiale al di sotto della superficie del cratere viene distrutto dallo shock dovuto all'impatto.

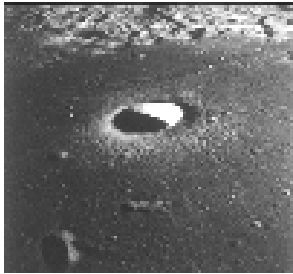
Vicino alla superficie si formano strati di breccia (un tipo di roccia composta da un conglomerato di frammenti grossolani di rocce)

Le rocce più profonde, pur rimanendo in loco, vengono fratturate dall'impatto. L'ammontare delle fratture diminuisce con la profondità.

L'energia dell'impatto causa la fusione del materiale

Craterizzazione

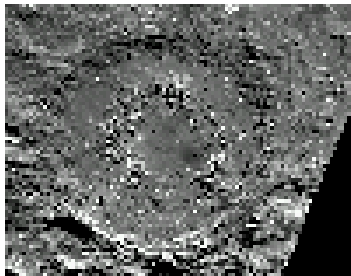
Le forme dei crateri sulla Luna cambiano con le dimensioni.



Cratere Moltke, 7 km di diametro. Esempio di cratere semplice con forma concava e pareti lisce. Tali crateri hanno di solito una profondità pari a circa il 20% del loro diametro.



Cratere Euler, 28 km di diametro e circa 2,5 km di profondità, è un buon esempio di cratere complesso. Ha un fondo piatto con un piccolo picco centrale e materiale che è fuoriuscito dal bordo interno. Si notano anche gli ejecta che si trovano intorno al cratere (20-175 km).



Cratere Schrodinger di 320 km, largo abbastanza per essere considerato un bacino da impatto (>300 km). Oltre al bordo esterno, Schrodinger presenta un bordo interno con diametro di circa 150 km. Schrodinger è uno dei più giovani bacini da impatto della Luna.

Il totale dei crateri da impatto con $D \geq 1\text{km}$ è ~ 300.000

Composizione geologica

Una differenza tra la Terra e la Luna sono i tipi di rocce presenti. Sulla Terra le rocce più comuni sono di tipo sedimentario mentre sulla Luna sono di tipo igneo. Sulla Luna, infatti non ci sono atmosfera e acqua.

Geologicamente il materiale lunare ha queste caratteristiche:

Le rocce delle highlands sono sostanzialmente anortositi, un tipo di roccia ignea che si forma quando il magma si raffredda più lentamente che nel caso dei basalti dei mari. Ciò significa che i mari e le highlands si sono raffreddati con tempi differenti e quindi si sono formati con processi differenti.

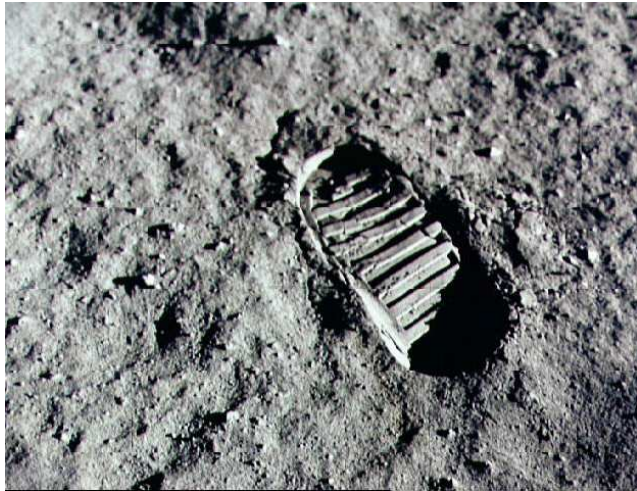
La breccia, che è costituita da frammenti di rocce diverse compattate insieme dagli impatti, si trovano sia sui mari che sulle highlands, ma più frequentemente su quest'ultime.

Il suolo lunare contiene particelle vetrose non comuni sulla Terra: queste sono formate a causa del calore e della pressione generata dagli impatti meteoritici.

I mari sono sostanzialmente formati da basalto scuro, che ha origine dal raffreddamento rapido della lava.

Le anortositi comuni sulle highlands lunari non lo sono sulla Terra.

Regolite



Il materiale smosso e frammentato, formato da polvere e detriti, che ricopre la superficie lunare è detto **regolite**, un termine usato per indicare strati di detriti non coesi presenti sulle superfici planetarie. Lo spessore del regolite lunare varia tra i 3-5 m dei mari e i 10-20 m sulle highland.

Gli impatti meteoritici nel corso di milioni di anni trasformano il suolo in polvere.

Il regolite lunare è formato da un insieme di materiali diversi e riflette la composizione dei materiali locali, ma può contenere anche frammenti di rocce molto distanti, eiettate dagli impatti.

Il regolite è una grande raccolta di materiali diversi e contiene la registrazione degli impatti avvenuti nel corso del tempo, informazioni cruciali per capire il ruolo degli impatti e la loro frequenza.

Contiene anche particelle vetrose formatesi negli impatti. I regoliti nelle highland sono ricchi di alluminio. Il regolite dei mari è ricco di ferro e magnesio, come i basalti.

Gli astronauti delle missioni Apollo hanno riferito che ha la consistenza della neve e l'odore di polvere da sparo bruciata.

Regolite



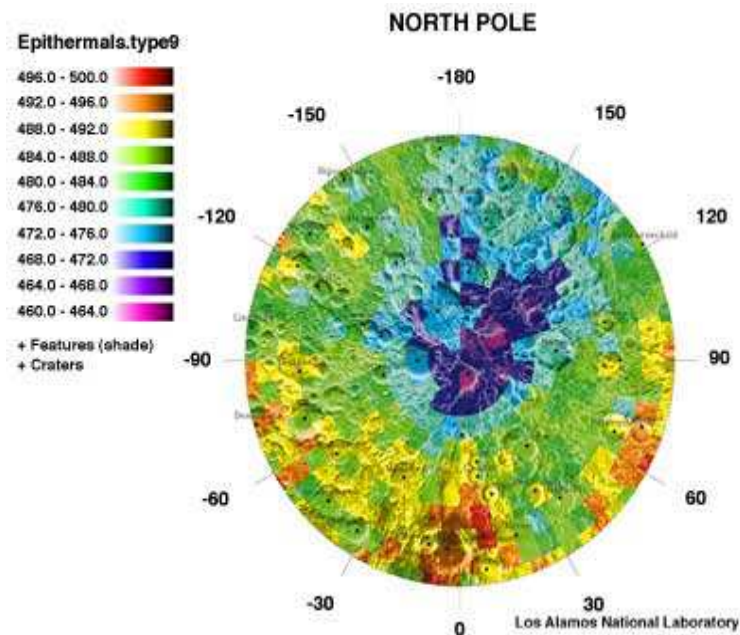
Un altro componente dei regoliti sono le sferule vetrose.

Queste si formano in due modi:

Fusione da impatto meteoritico:
l'impatto fonde il materiale che fuoriesce dal cratere e solidifica prima di ritoccare il suolo. Si formano sferule vetrose di diametro compreso tra 1 mm e 1 cm.

Altre sferule di vetro si sono formate per eruzioni violente di magma vulcanici (vetri piroclastici).

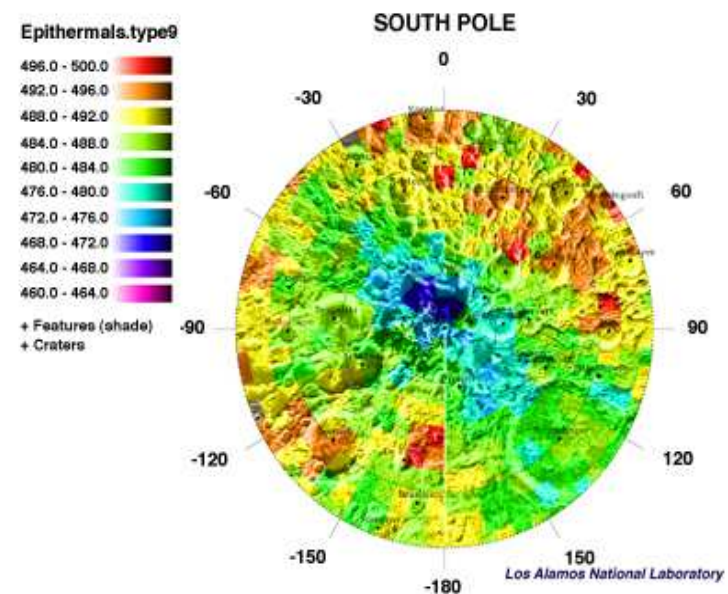
Composti volatili



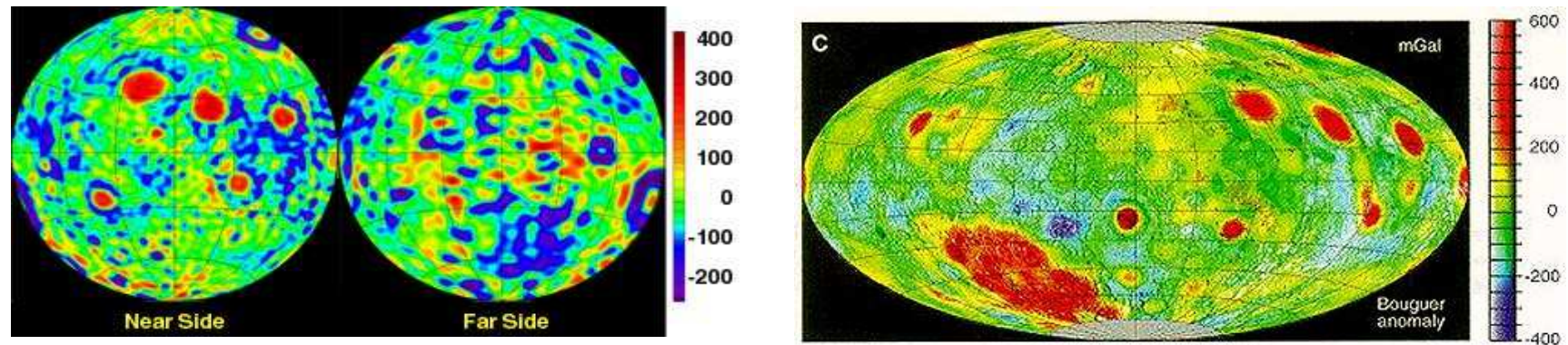
Lo spettrometro a neutroni della sonda americana Lunar Prospector (LP) ha rilevato evidenze della presenza di ghiaccio d'acqua (blu) nei poli lunari



LP poteva rivelare la presenza di acqua (o meglio di idrogeno) fino alla profondità di mezzo metro.



La gravità



Le mappe mostrano in rosso le concentrazioni di massa, che corrispondono ai maggiori bacini da impatto.

Esse vengono definite *mascon* (*mass concentrations*).

Queste anomalie gravimetriche potrebbero essere state causate da incrementi di densità delle rocce profonde.



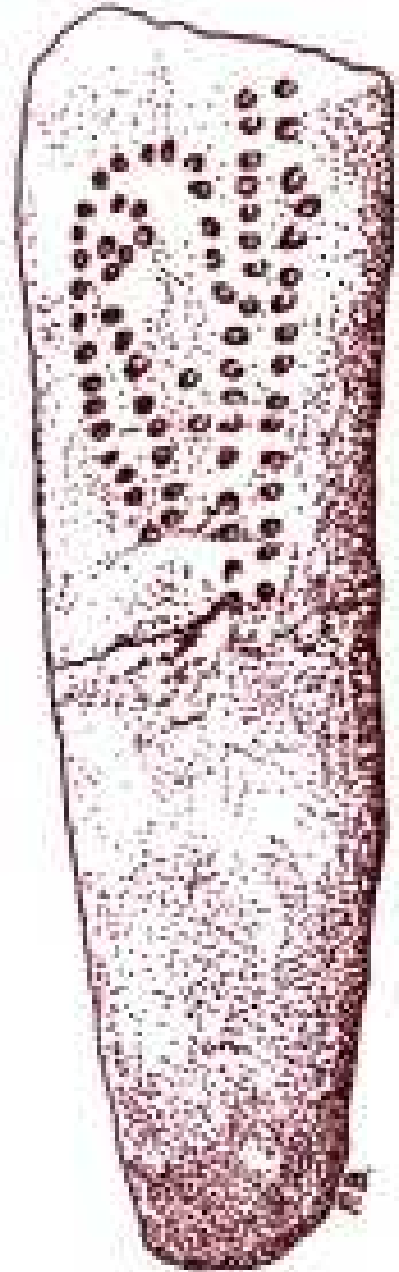
I miti lunari

I miti lunari

Le prime "osservazioni" sulla Luna risalgono all'epoca preistorica.

Sono molti i ritrovamenti, risalenti a decine di migliaia di anni fa, in cui si può riconoscere una qualche connessione con i fenomeni lunari.

Ad esempio l'"Osso di Blanchard", proviene da Abri Blanchard, regione francese di Les Eyzies de Tayac, in Dordogna, riporta sulla sua superficie 69 incisioni risalenti a circa 30.000 anni fa. Tali incisioni furono fatte dall'Uomo di Cro-Magnon. I segni incisi sono disposti a spirale ed hanno la forma di una falce, di un fagiolo o di una moneta in progressione. Complessivamente si può riconoscere l'evolversi della Luna nell'arco di due mesi e un quarto.



I miti lunari

Nella cultura occidentale le prime testimonianze sull'osservazione della Luna coincidono con l'origine del suo nome.

La parola "Luna" deriva dall'antichissima radice indoeuropea "leuk" che significa "splendere".

A Efeso il nostro satellite era adorato come Dea della Fecondità col nome di Diana o Lucina e dall'abbreviazione di questo secondo nome deriva il nostro "Luna".

La nascita di Adone

Marcantonio Franceschini (1648-1729)

Al centro della scena troviamo la dea Diana-Lucina porgere il neonato ad una terza ninfa, fulcro di tutta la composizione è, infatti, Adone che è in piena luce, a differenza della madre Mirra (l'albero da cui è nato Adone) che appare sulla sinistra tutta in ombra.



I miti lunari

Il culto della Luna è presente presso tutte le antiche civiltà in ogni parte del mondo.

Gli etnologi, considerando tutte civiltà di tutti i tempi e di ogni latitudine, sono riusciti a contare ben 1008 nomi differenti per la Luna.

Nella Letteratura italiana la parola "Luna" appare per la prima volta nel 1224 nel Cantico delle creature di San Francesco: "Laudato sì, mì signore per sora Luna e le stelle; ...".

Dante Alighieri dedica alla Luna molte terzine della Commedia ed il secondo canto del paradiso è quasi un trattato su di essa.

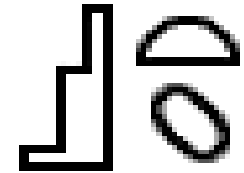
In Leopardi la Luna diventa ispiratrice di moti lirici e riflessioni filosofiche come nel Cantico di un pastore dell'Asia minore.

La luna nella letteratura più recente conserva la sua dimensione mitica ed emotiva ma incorpora anche la dimensione scientifica (vedi ad esempio Italo Calvino nelle sue Cosmocomiche).

I miti lunari

Fin dai tempi più remoti la Luna fu venerata, sotto diverse personalità, da popoli di tutto il mondo.

Gli antichi Egizi adoravano la Luna col nome di Iside e la rappresentavano con una Luna crescente sul petto e sul capo. Iside è la dea della maternità e della fertilità. Era associata alla regalità (il suo geroglifico include la parola per "trono").



Per gli Assiri ed i babilonesi la Luna si chiamava Sin-Samas-Istharn. Per il fenomeno delle fasi questo dio era considerato come l'astro che cresce e decresce creando se stesso.

Tra i fenici era molto diffuso il culto di Astarte, raffigurato con una falce di Luna sulla fronte.

I miti lunari

Gli Arabi l'adoravano la Luna sotto il nome di al-Lât che significa "nume dei numi".

Presso i popoli germanici era vista come una cacciatrice che cavalcava nella notte attraverso la foresta e di giorno in luoghi desolati sotto la forma di una bellissima donna. Più tardi, in documenti medioevali, le danno il nome di Holda o Holle "la benevola" e la raffigurano come una strega.

Nel centro dell'Africa, i Watussi venerano ancora oggi la Luna.

Nel pantheon nipponico la Luna, chiamata Tsuki-yomi-no-kami, occupa uno dei posti più elevati insieme a Amaterasu, la dea del Sole.

I miti lunari

La luna, nonostante i suoi cambiamenti, ha un importante componente di serenità, di pace, di equilibrio e stabilità.

Anche se ci sono esempi contrari, l'attributo principale della Luna è la femminilità, facilmente collegabile al parallelismo tra il ciclo mestruale della donna e il ciclo lunare.

I maori della Nuova Zelanda credono che sia una malattia provocata dalla Luna.

I miti lunari

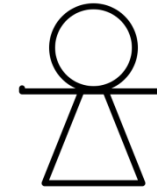
Sono molte le divinità notturne associate alla Luna: buone e cattive.

Una è la babilonese Lilith, ripresa poi anche dalla cultura ebraica: sembra che fosse la prima moglie che Dio diede ad Adamo, ma non volendosi sottomettere fu scacciata dal paradiso terrestre e sostituita con Eva.



Antico bassorilievo raffigurante Lilith.

I miti lunari



Col nome di Tanit era venerata a Cartagine ed era la protettrice della città; godeva di speciali favori tanto da comparire nelle monete.

Era dea della fertilità, dell'amore e del piacere, associata alla buona fortuna e alle messi.

Il simbolo di Tanit era la piramide tronca portante una barra rettangolare sulla sommità e un cerchio.

Questo simbolo può essere osservato in molte necropoli puniche dell'Africa Mediterranea, della Sicilia, della penisola Iberica.

Secondo molti autori classici il culto di Tanit richiedeva anche sacrifici umani, confermati dalla presenza, nei templi dedicati alla Dea di numerosi scheletri di bambini. Alcuni archeologi contemporanei sostengono che in questi luoghi venissero sepolti gli infanti morti per malattia, e che i cartaginesi non praticassero sacrifici umani.



Stele nel Tophet di
Cartagine col simbolo di
Tanit

I miti lunari

Nel mondo classico i due figli di Latona: Apollo e Diana erano identificati col Sole e la Luna.

In Grecia si adorava anche Selene (Σελήνη = luna), la Luna sotto forma di donna.

Essa era ritenuta la dea della fecondità, avendo avuto cinquanta figli dal pastore Endimione.

Le donne avevano un culto particolare per questa dea.



Selene, Hesperos, Phosphoros (Louvre, Parigi)

I miti lunari

Selene è figlia di Iperione e Teia, sorella di Elio (il sole) ed Eos (l'aurora); è la personificazione della luna piena, insieme ad Artemide (la luna nuova), alla quale è a volte assimilata, ed a Ecate (la luna calante).

La dea viene generalmente descritta come una bella donna con il viso pallido, che indossa lunghe vesti fluide bianche od argentate e che reca sulla testa una luna crescente ed in mano una torcia.



I miti lunari

Un mito cinese sulle origini della Luna, parla anche delle sue cicatrici.

Ci fu un'epoca nella quale la luna era ancora più calda che il sole, e bruciava la terra ed i suoi abitanti coi suoi raggi.

Con l'intenzione di mettere fine alla sofferenza degli uomini, Qua, un mortale con una costituzione e forza invidiabili, salì sulla cima di una montagna e gettò nel viso della luna un pugno di sabbia che il caldo fuse ed aderì al viso.

Dolorante e terrorizzata, la luna si rifugiò in un punto lontano dei cieli, da dove il suo caldo non faceva oramai male a nessuno, ma l'orma della sabbia intrepida in lei rimarrebbe sempre, incancellabile, in forma delle cicatrici e solchi che noi conosciamo.



Rappresentazioni della Luna

La prima rappresentazione conosciuta



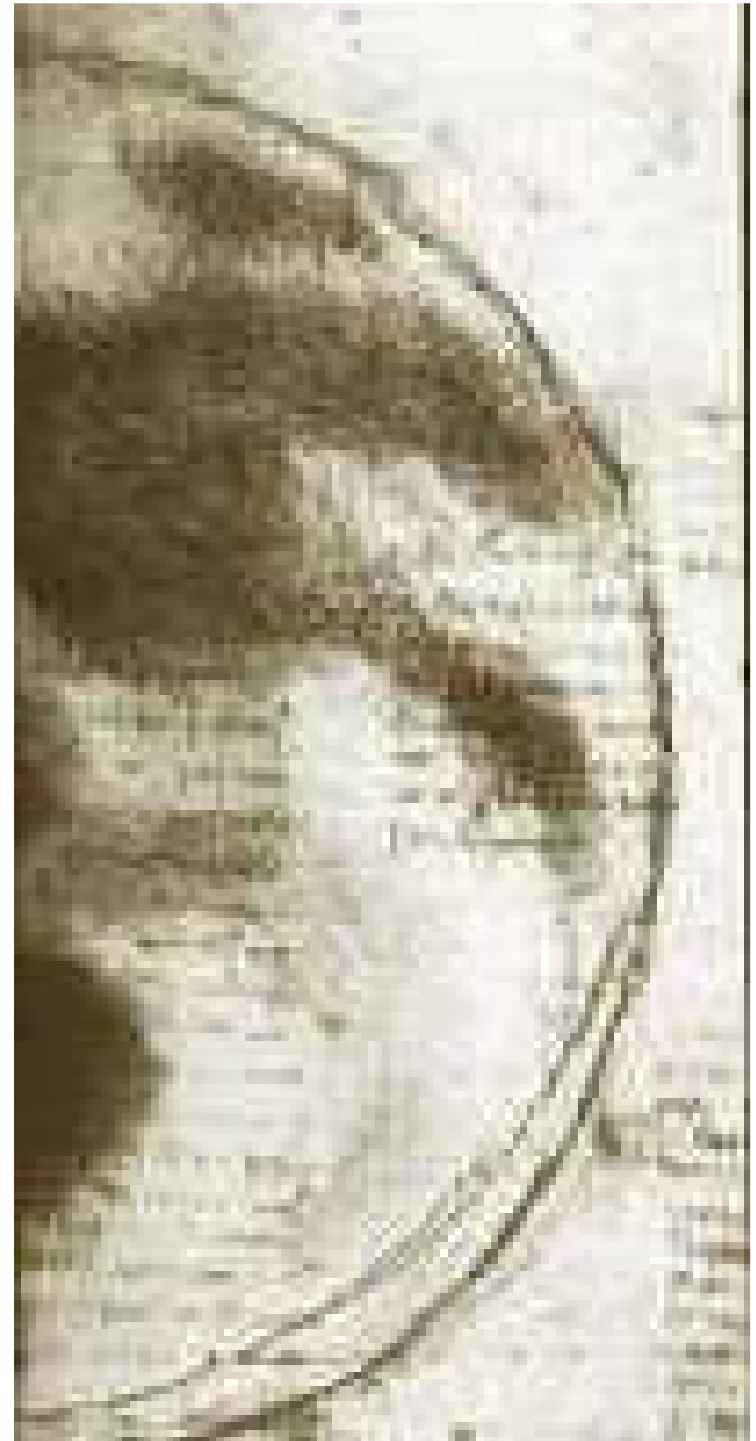
Si trova scolpita in una pietra a Knowth, nella contea di Meath, in Irlanda. Si ritiene abbia 5000 anni di età.

La prima rappresentazione conosciuta



A sinistra il disegno di Knowth; al centro un disegno della Luna, come la si vede ad occhio nudo; a destra una sovrapposizione delle due immagini.

Disegno della Luna di
Leonardo da Vinci (1452 –
1519) riportato nel Codice
Atlantico

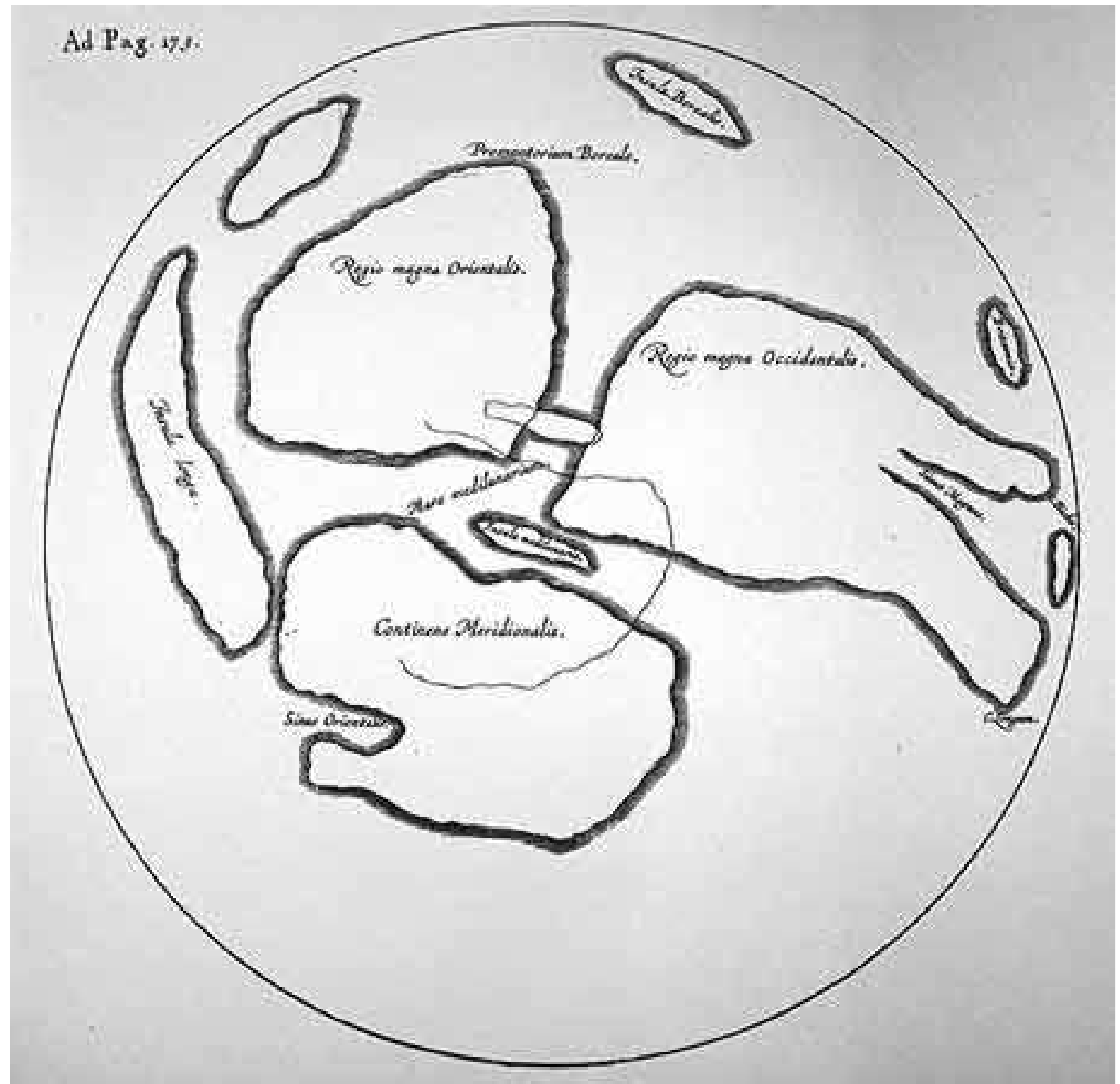


Disegno della Luna di Gilbert

Morto nel 1603,
viene
pubblicata nel
1651.

È la prima volta
che viene
riportata una
nomenclatura.

Per Gilbert, le
macchie scure
sono “terre”,
invece le zone
più luminose
sono oceani.



Disegno della Luna

Uno dei disegni
della Luna
realizzati dai
frequentatori
dell'Osservatorio
"Padre
Francesco De
Vico" di Monte
d'Aria di
Serrapetrona
(MC).





Galileo Galilei

La Luna di Galileo

“Bellissima cosa e mirabilmente piacevole, vedere il corpo della Luna, lontano da noi quasi sessanta raggi terrestri, così da vicino come distasse solo due di queste dimensioni; così che si mostrano il diametro stesso della Luna quasi trenta volte, la sua superficie quasi novecento, il volume quasi ventisettemila volte maggiori che quando si guardano a occhio nudo: e quindi con la certezza della sensata esperienza chiunque può comprendere che la Luna non è ricoperta da una superficie liscia e levigata, ma scabra e ineguale, e, proprio come la faccia della Terra, piena di grandi sporgenze, profonde cavità e anfratti.”

Dal *Sidereus Nuncius*

La Luna di Galileo

“Nel quarto o quinto giorno dopo la congiunzione, quando la Luna ci mostra i corni splendenti, il termine di divisione tra la parte scura e la chiara non si stende uniformemente secondo una linea ovale, come accadrebbe in un solido perfettamente sferico, ma è tracciato da una linea ineguale, aspra e assai sinuosa. Infatti molte luminosità come escrescenze si estendono oltre i confini della luce e delle tenebre, e per contro alcune particelle oscure si introducono nella parte illuminata. Di più: anche gran copia di piccole macchie nerastre, del tutto separate dalla parte oscura, cospargono quasi tutta la plaga già illuminata dal Sole, eccettuata soltanto quella parte che è cosparsa di macchie grandi e antiche. ...”

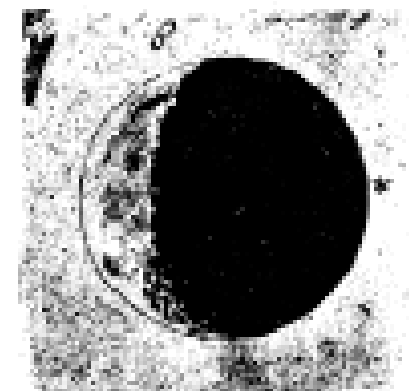
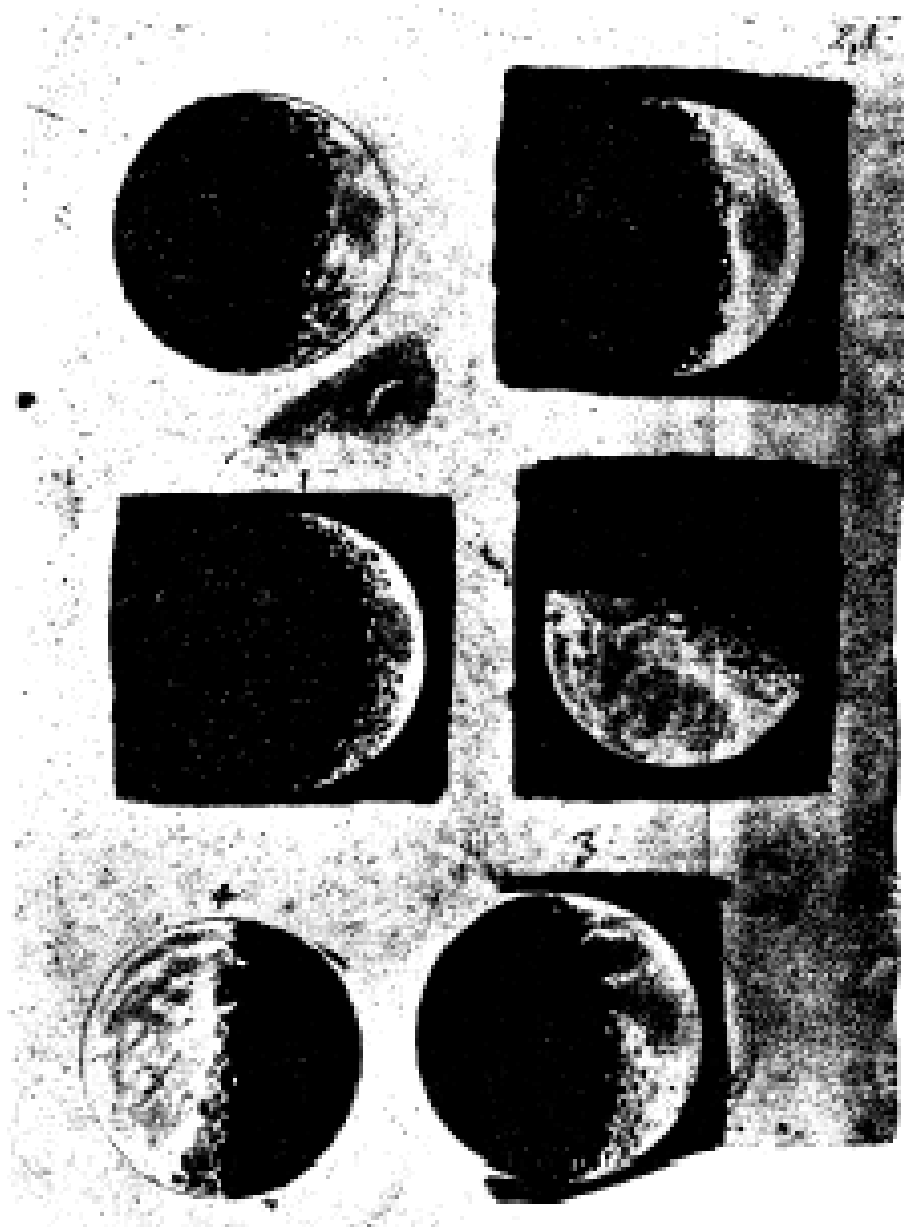
Dal *Sidereus Nuncius*

La Luna di Galileo

“... Notammo pure che le suddette piccole macchie concordano, tutte e sempre, in questo: nell'avere la parte nerastra volta al luogo del Sole; nella parte opposta al Sole invece sono coronate da contorni lucentissimi, quasi montagne accese.

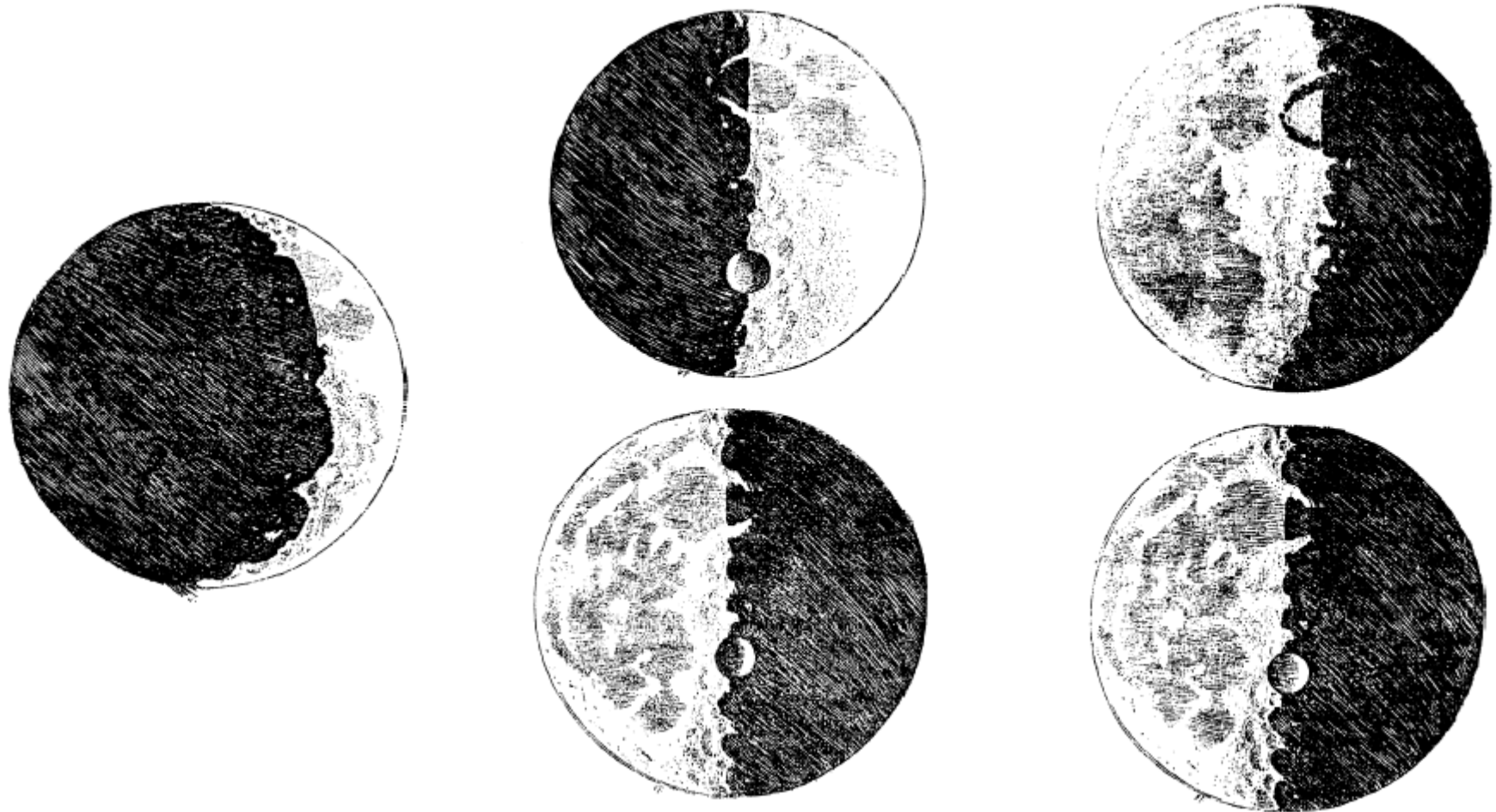
Uno spettacolo simile abbiamo sulla Terra verso il sorgere del Sole quando vediamo le valli non ancora illuminate e splendenti i monti che le circondano dalla parte opposta al Sole: e come le ombre delle cavità terrestri di mano in mano che il Sole si innalza si fanno più piccole, così anche queste macchie lunari, al crescere della parte luminosa, perdono le tenebre.”

I disegni della Luna di Galileo



Da "Le Opere di Galileo"
vol III parte 1

I disegni della Luna di Galileo



Dal *Sidereus Nuncius* in "Le Opere di Galileo" vol III parte 1



Dopo Galileo

Dopo Galileo

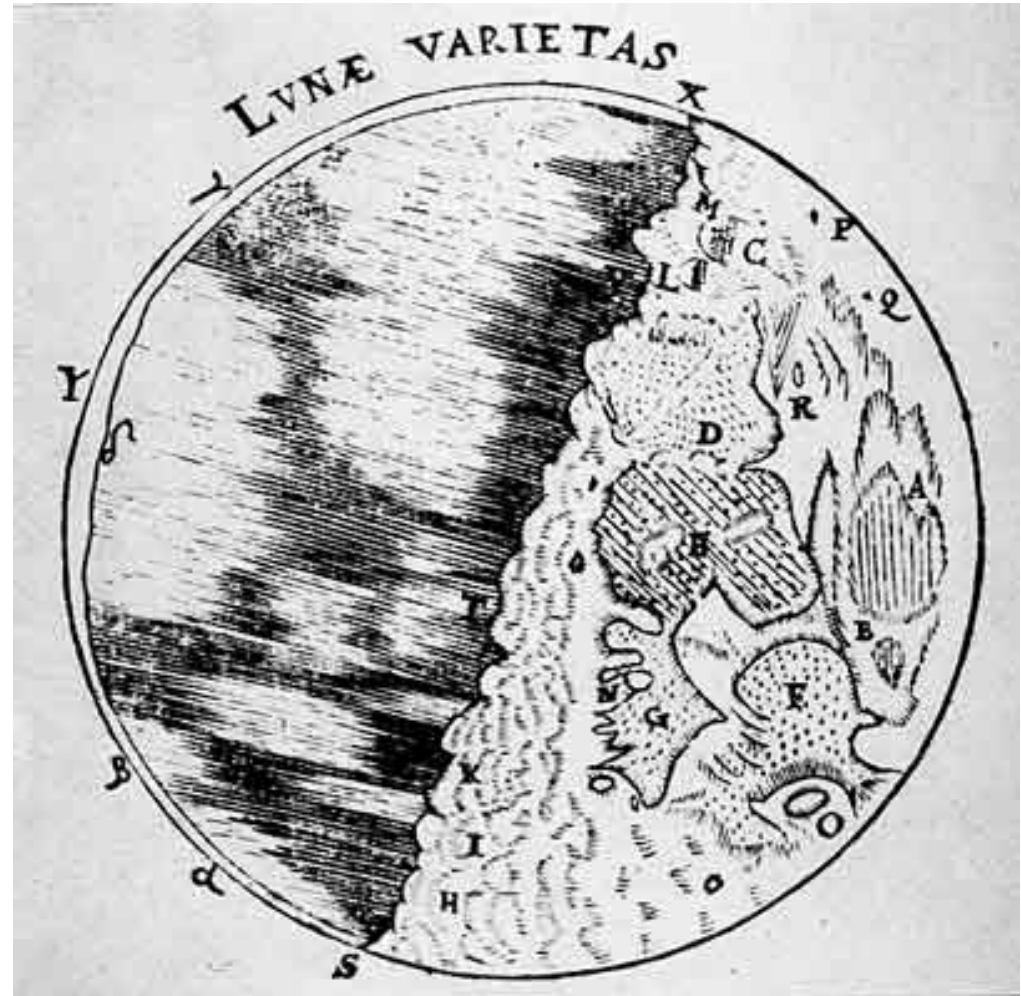
Nei vent'anni successivi alle prime osservazioni di Galileo non vi fu nessun reale progresso nella raffigurazione della Luna.

Il motivo principale è che gli astronomi generalmente disponevano di cannocchiali dalle mediocri prestazioni. Fino agli anni 1620-1625 solamente Galileo era in grado di costruire cannocchiali di accettabile qualità.

Dopo Galileo

Dopo le osservazioni di Galileo molti astronomi si sono occupati della Luna e in molti hanno realizzato mappe.

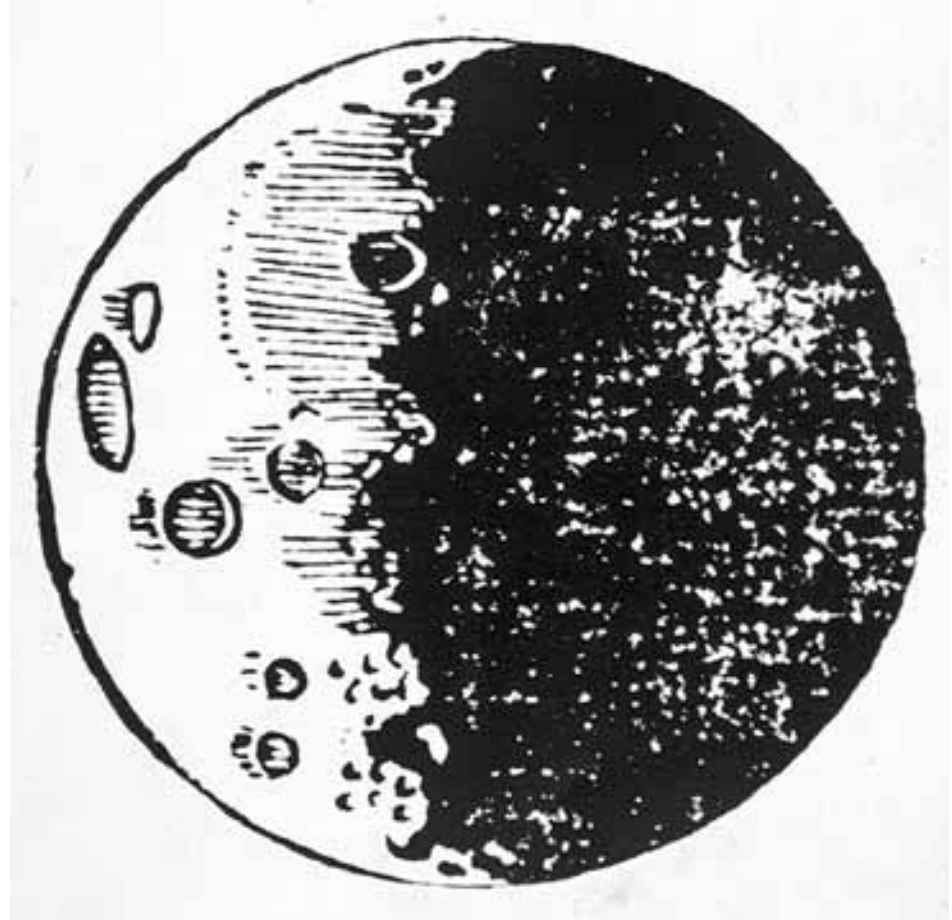
Uno dei primi disegni è dovuto a Scheiner fatto probabilmente la sera del 31 ottobre 1612.



E' inferiore a quelli di Galileo, sia nel corretto posizionamento dei particolari sia nell'estetica complessiva dell'immagine.

Dopo Galileo

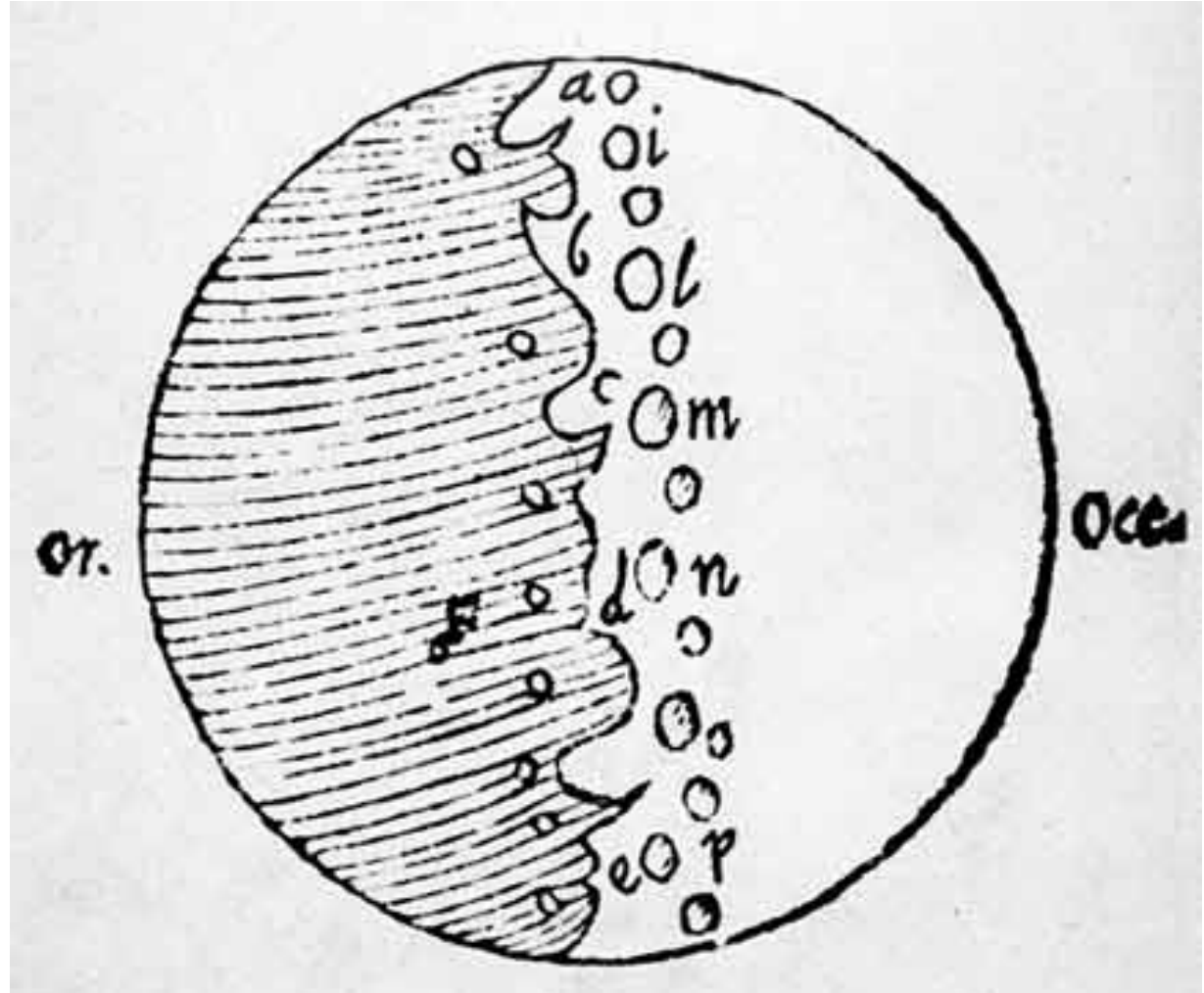
Cinque anni dopo la pubblicazione del disegno di Scheiner, il gesuita, matematico e astronomo belga, Charles Malapert, realizza uno schizzo della Luna. Questo lavoro viene inserito in un discorso pronunciato nel 1619 all'Università di Douai in occasione dell'apertura dell'anno accademico.



Dopo Galileo

Anche il gesuita
bolognese
Giuseppe Biancani
fu l'autore di uno
schizzo del primo
quarto di Luna.

Apparve in
un'opera didattica
del 1620 scritta per
illustrare i progressi
dell'astronomia
dopo l'invenzione
del cannocchiale



Dopo Galileo

Per registrare un sostanziale progresso nella rappresentazione della Luna è stato necessario disporre di uno strumento di misura dalle caratteristiche innovative: *il reticolo micrometrico*.

Fu inventato alla metà del Seicento e il suo impiego nella cartografia lunare divenne consuetudine consolidata solamente alla fine del Settecento.

Newton aveva individuato l'importanza del micrometro tanto che egli distinse in modo netto le osservazioni astronomiche eseguite *prima* dell'invenzione del micrometro e *dopo* di questa, attribuendo due pesi diversi all'attendibilità dei dati raccolti.

Dopo Galileo

Nel 1636 vennero pubblicati 3 disegni di Gassendi e Peiresc di 21 cm di dimensione.

La pubblicazione fu realizzata dall'incisore Claude Mellan.

Erano: una Luna piena (in figura), un primo ed un ultimo quarto.



Dopo Galileo

Nel 1645, il belga Michel Florent van Langren, cosmografo del re di Spagna, disegnò una carta lunare di 35 cm sulla quale erano tracciate 325 configurazioni con i relativi nomi.

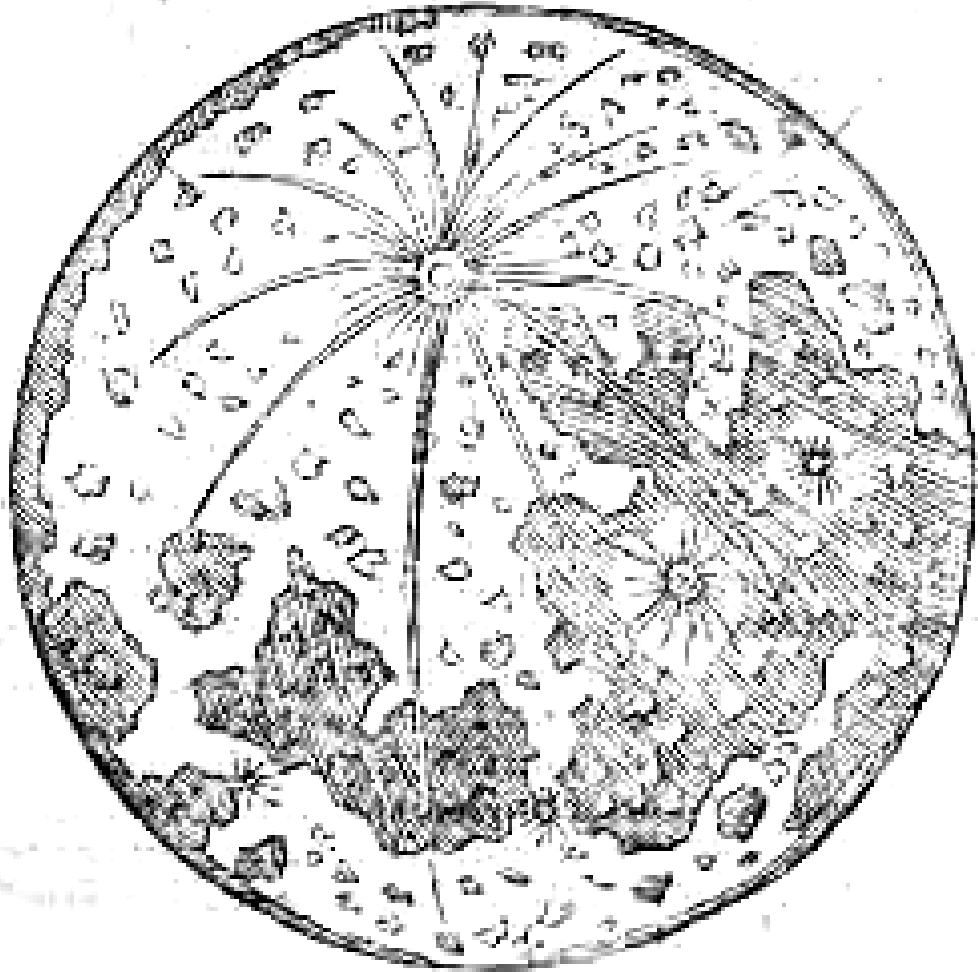
Di questi, solo tre sono conservati nella moderna nomenclatura lunare.



Dopo Galileo

Nella carta lunare al plenilunio realizzata dal Fontana, sono riconoscibili pochi particolari.

Egli sembra più interessato a rilevare i pochi grandi punti luminosi della superficie, ignorando gli altri aspetti.



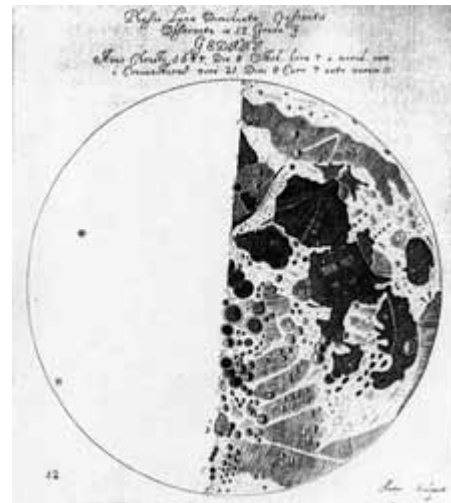
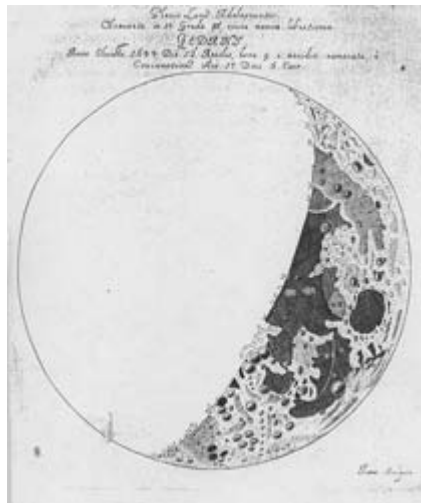
Dopo Galileo

Il lavoro più accurato di quel periodo fu realizzato da Johannes Hevel, latinizzato in Hevelius.

Lavoro che si concretizzò nella pubblicazione di un'opera, *Selenographia*, pubblicata nel 1647, che subito fu considerato uno dei capolavori della scienza seicentesca.



Dopo Galileo



Alcuni disegni della Luna
realizzati da Hevelius tra
novembre 1643 e ottobre
1644.

Dopo Galileo

Il lavoro di Hevelius condizionò quello di molti altri astronomi interessati alla rappresentazione della Luna.

Il miglioramento degli strumenti portò anche alla realizzazione di migliori carte lunari.

Dopo Galileo

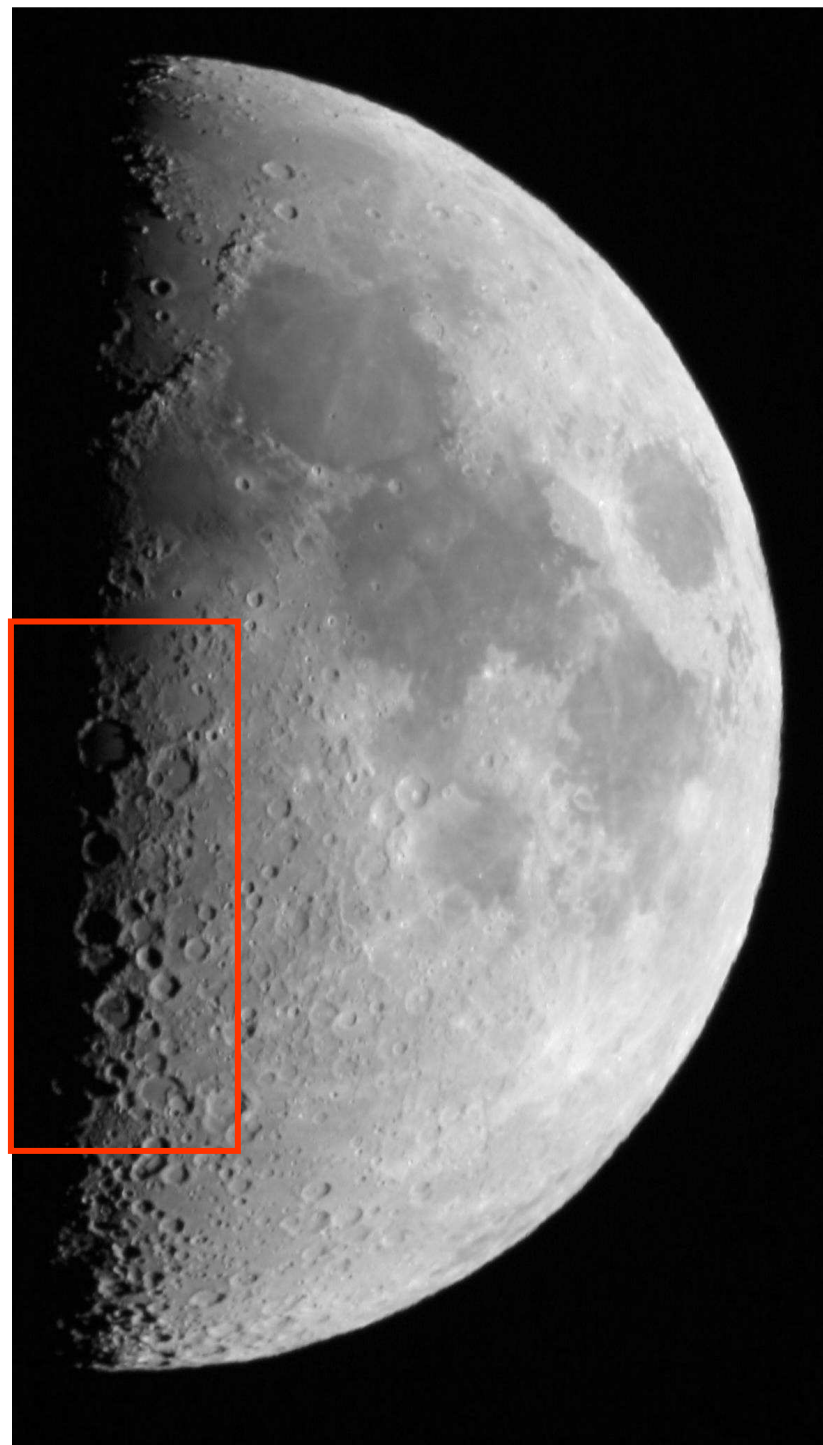
Per arrivare ad un ulteriore passo in avanti nella rappresentazione della Luna bisogna arrivare alla metà dell'Ottocento quando è stata applicata la fotografia all'Astronomia.

La Luna, data la sua luminosità, fu infatti uno dei primi oggetti celesti ad essere fotografati.

Dopo Galileo

Luna al primo quarto

Una immagine della della Luna
realizzata con una fotocamera
digitale all'Osservatorio "Padre
Francesco De Vico" di Monte
d'Angeli di Serrapetrona (MC)



Dopo Galileo

Immagine della
Luna piena
realizzata con
apparecchiatura
amatoriale



(c) Antonello Medugno



L'esplorazione spaziale

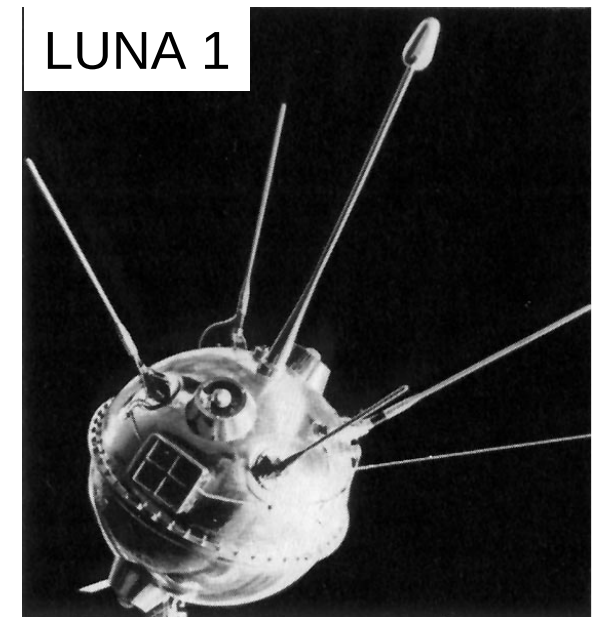
L'esplorazione spaziale

Con l'inizio dell'esplorazione dello spazio, la Luna divenne il bersaglio principale di molte missioni: ad oggi se ne contano più di 100.

Il primo tentativo fu dell'americano della Pioneer 0, lanciato il 17 agosto 1958, fallì.

Fallirono anche i successivi tentativi (3 sovietici e 3 americani).

Il primo sorvolo della Luna fu di una sonda dell'Unione Sovietica: il LUNA 1, lanciata il 2 gennaio 1959. Passò a circa 6000 km.



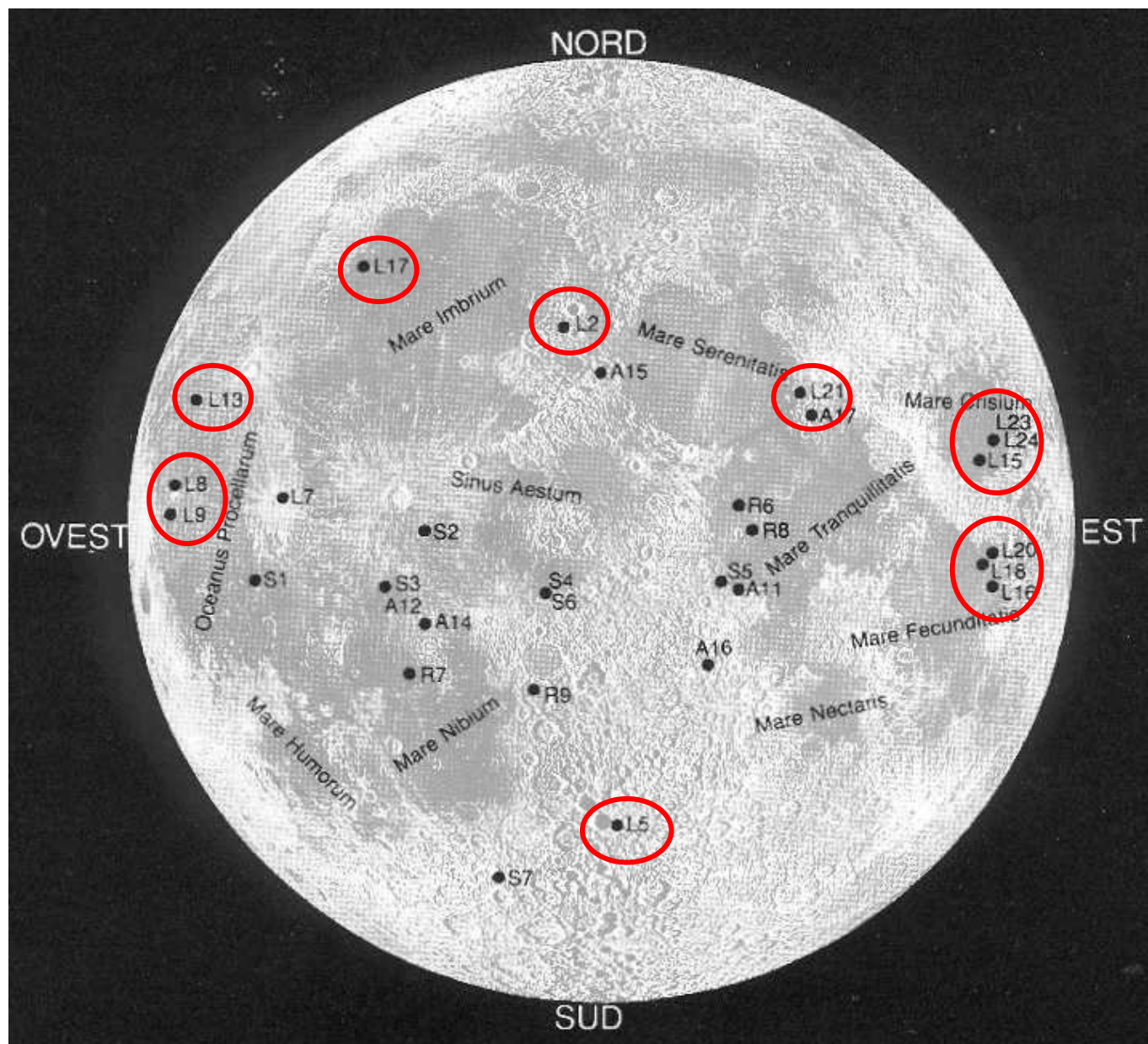
L'esplorazione spaziale

L = LUNA (URSS):

14 missioni

da LUNA 2
(12 settembre 1959)

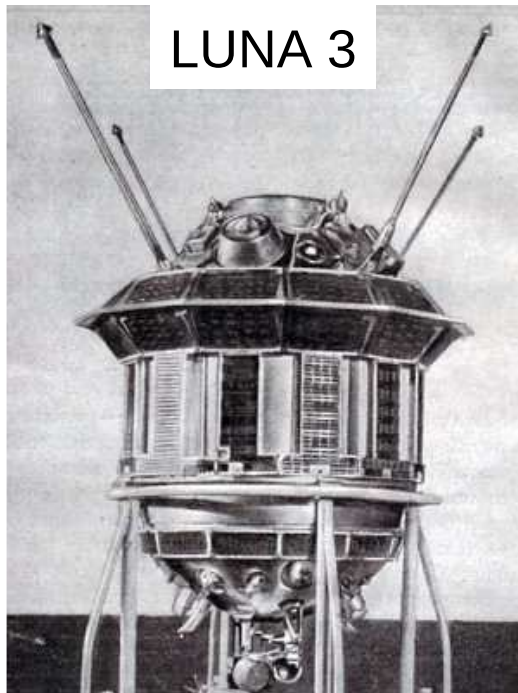
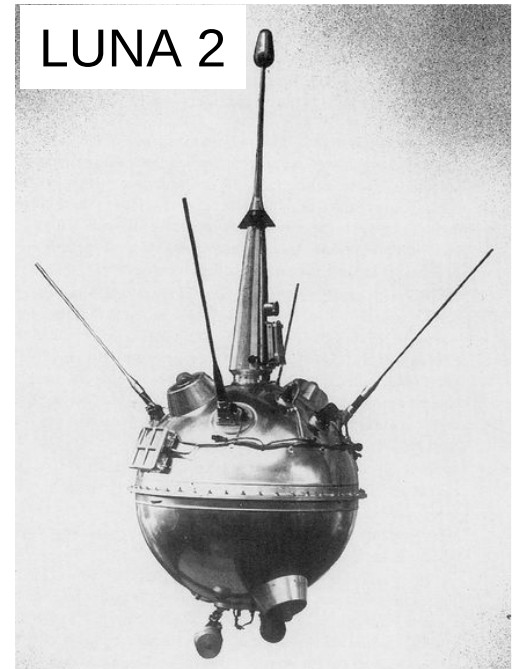
a LUNA 24
(9 agosto 1976)



L'esplorazione spaziale



LUNA 2 è il primo oggetto dell'uomo a colpire la Luna. Viene lanciato il 12 settembre 1959.



LUNA 3 invia a Terra le prime immagini della faccia nascosta. Viene lanciato il 4 ottobre 1959.

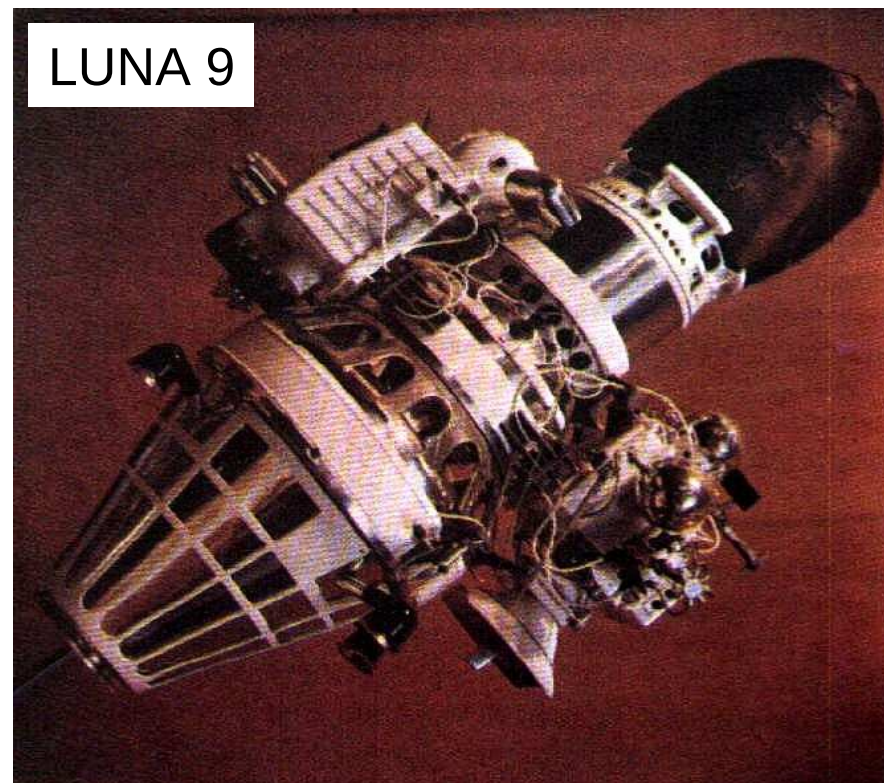
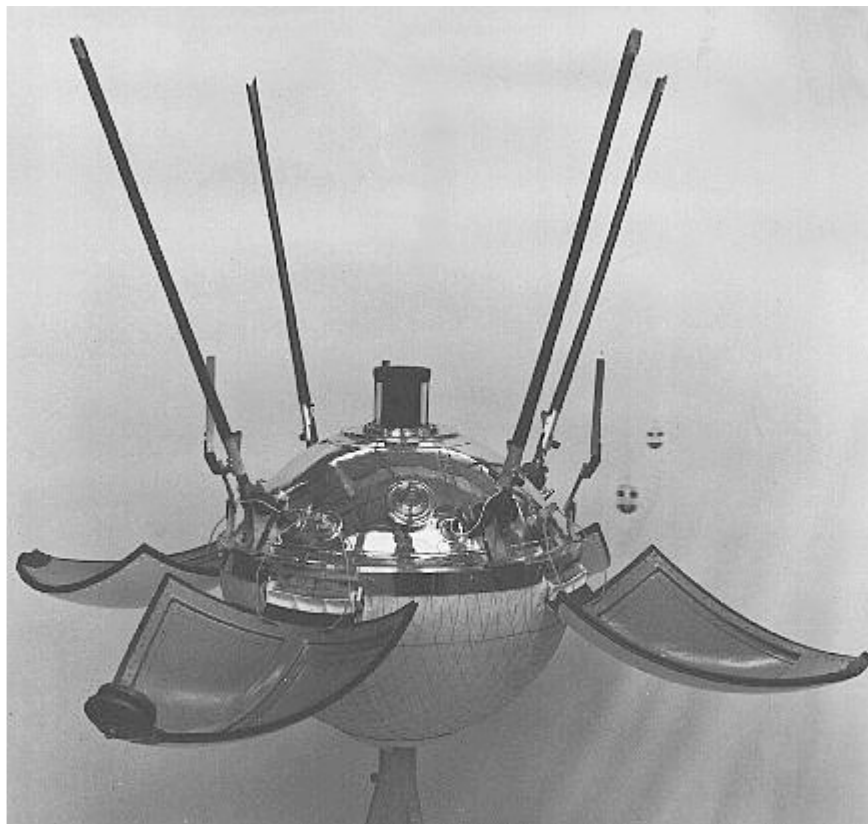
Mosaico delle immagini di LUNA 3



L'esplorazione spaziale

LUNA 9 effettua il primo
allunaggio morbido.

Lanciata il 31 gennaio 1966 alle
11:45:00 UT raggiunse la Luna il
3 febbraio 1966.



Poco dopo, il modulo di atterraggio
si separò dalla sonda ed iniziò la
discesa sulla Luna.

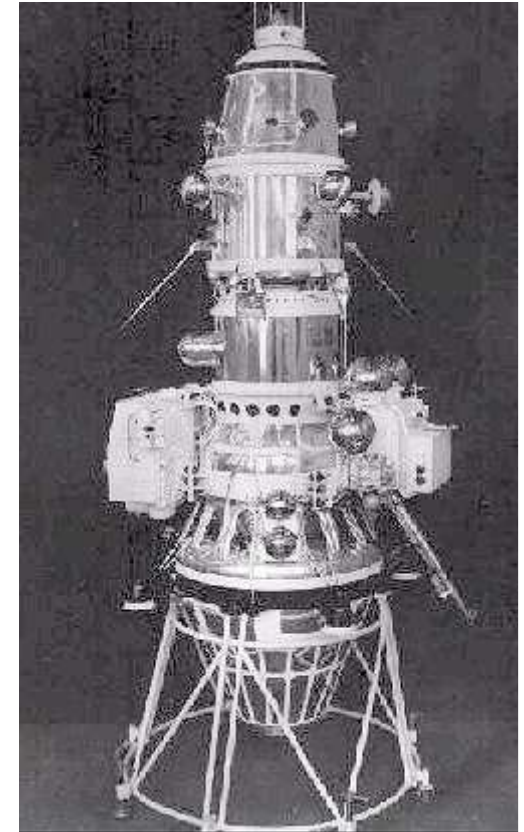
La sonda di allunaggio di LUNA 9

L'esplorazione spaziale

LUNA 10 fu il primo tentativo riuscito di porre un satellite artificiale in orbita attorno alla Luna.

Lanciata il 31 marzo 1966 alle 10:48:00 UT, entrò in orbita lunare il 3 aprile 1966 e completò la sua prima orbita 3 ore dopo.

L'ultimo contatto con la sonda si ebbe il 30 maggio 1966.



LUNA 10

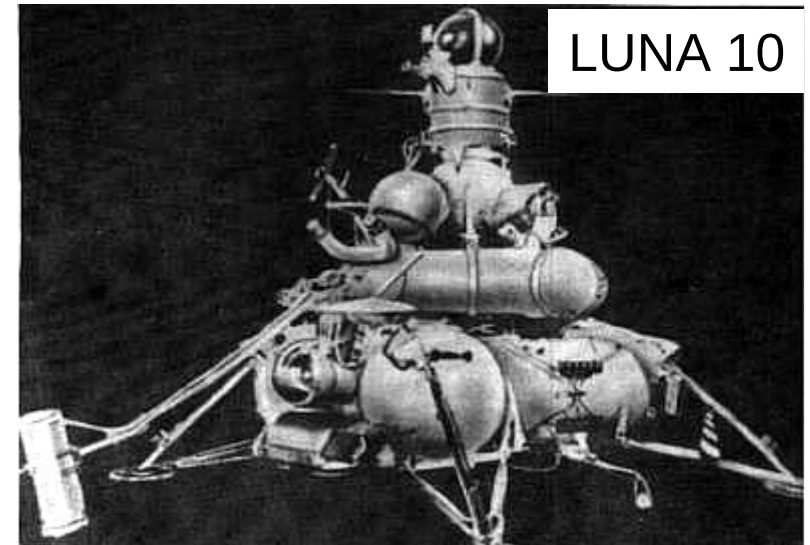
L'esplorazione spaziale

LUNA 16 fu la prima sonda robotica ad atterrare sulla Luna, fu lanciata il 12 Settembre del 1970 alle 13:25:53 UT. Il 20 settembre iniziò la discesa e sei minuti dopo, alle 05:18 UT, allunò.

LUNA 16 perforò la superficie della Luna e raccolse 105 g di rocce lunari.

Alle 07:43 UT del 21 settembre l'ultimo stadio di Luna 16 decollò dalla Luna.

Tre giorni dopo la capsula con il materiale lunare atterrò in Kazakistan.



L'esplorazione spaziale

Rappresentazione
artistica del LUNA
24

LUNA 24 è stata l'ultima sonda ad effettuare un atterraggio morbido sulla Luna.

Fino alla Stardust (2006) non ci sono state altre sonde che hanno riportato sulla Terra materiali extraterrestri.

È anche l'ultima missione lunare dell'Unione Sovietica o Russia.



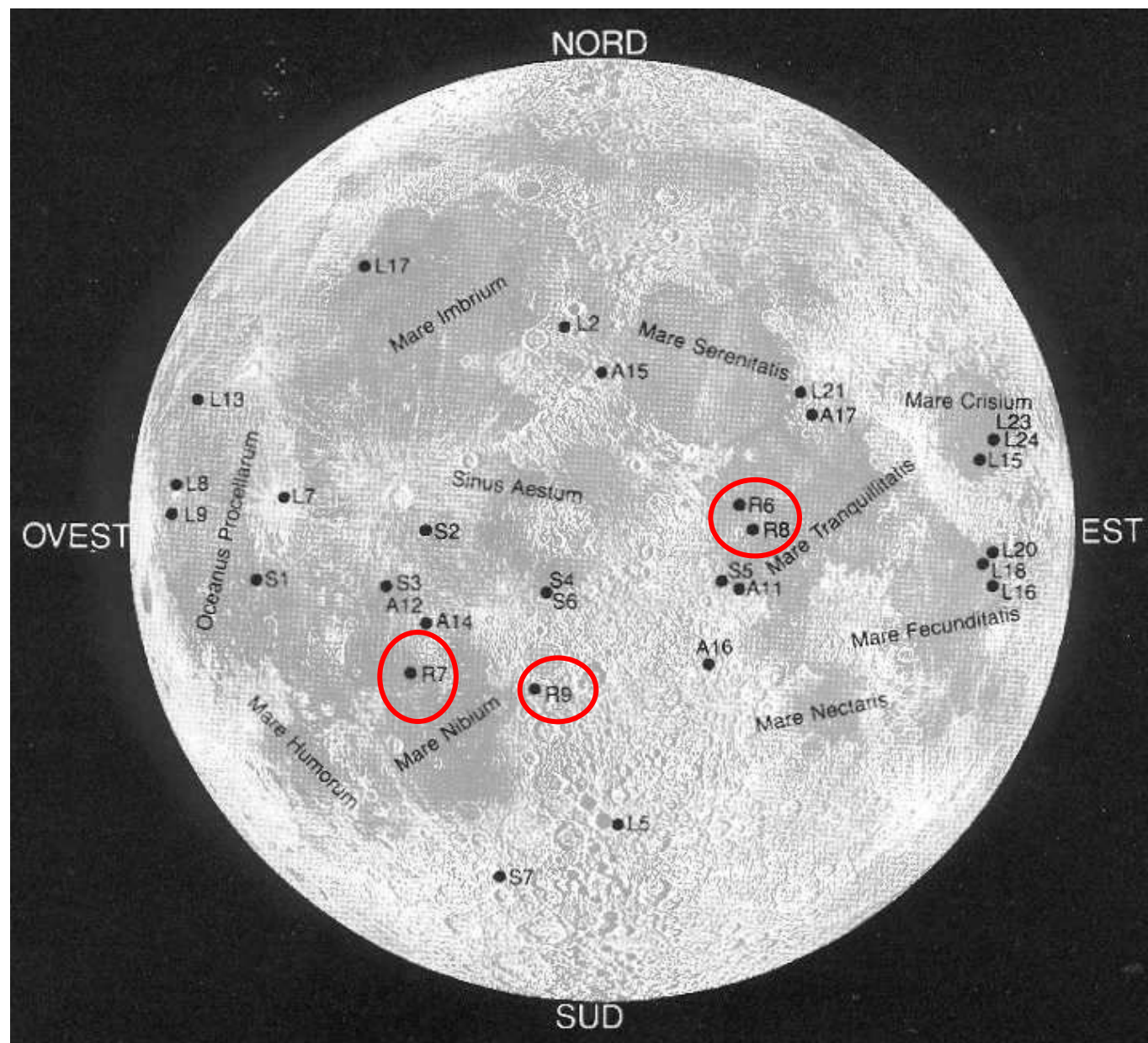
L'esplorazione spaziale

R = RANGER
(USA):

4 missioni

da RANGER 6
(2 febbraio 1964)

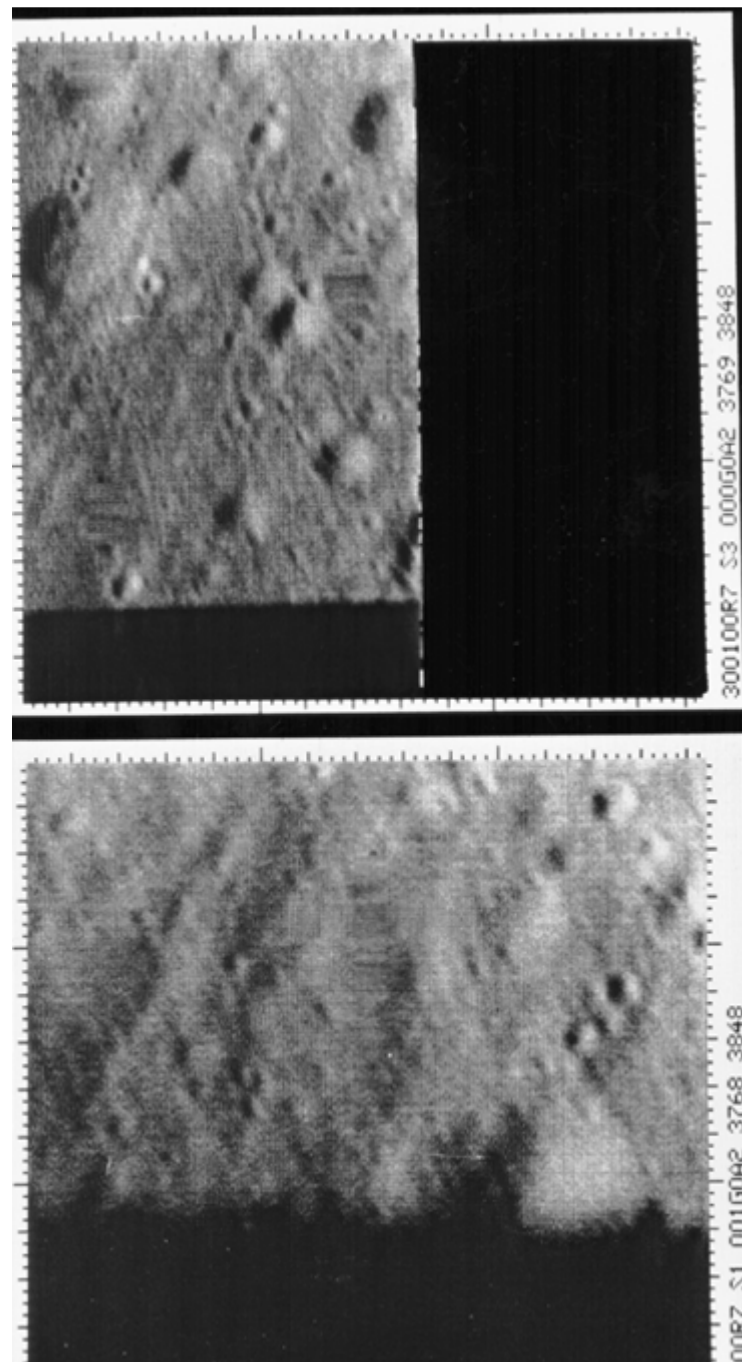
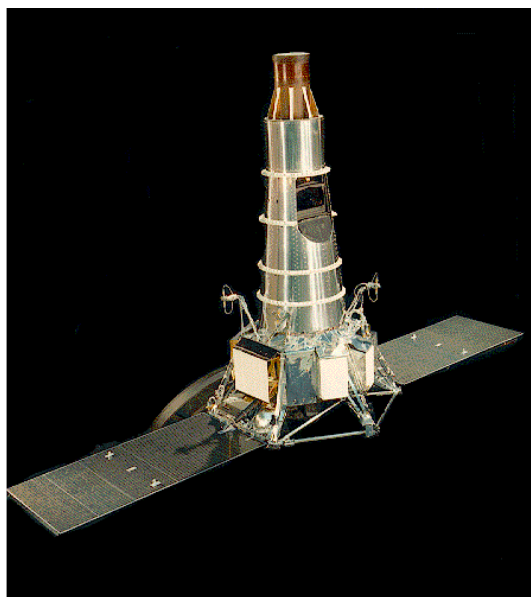
a RANGER 9
(24 marzo 1965)



L'esplorazione spaziale

La serie Ranger fu il primo tentativo USA di ottenere immagini ravvicinate del suolo lunare. Le sonde erano progettate per volare fino alla Luna e trasmettere immagini a Terra fino al momento dell'impatto.

Le prime missioni fallirono; la Ranger 6 raggiunse parzialmente il suo obiettivo, mentre le Ranger 7, 8 e 9 ottennero pieno successo.



Le ultime immagini riprese da Ranger 7

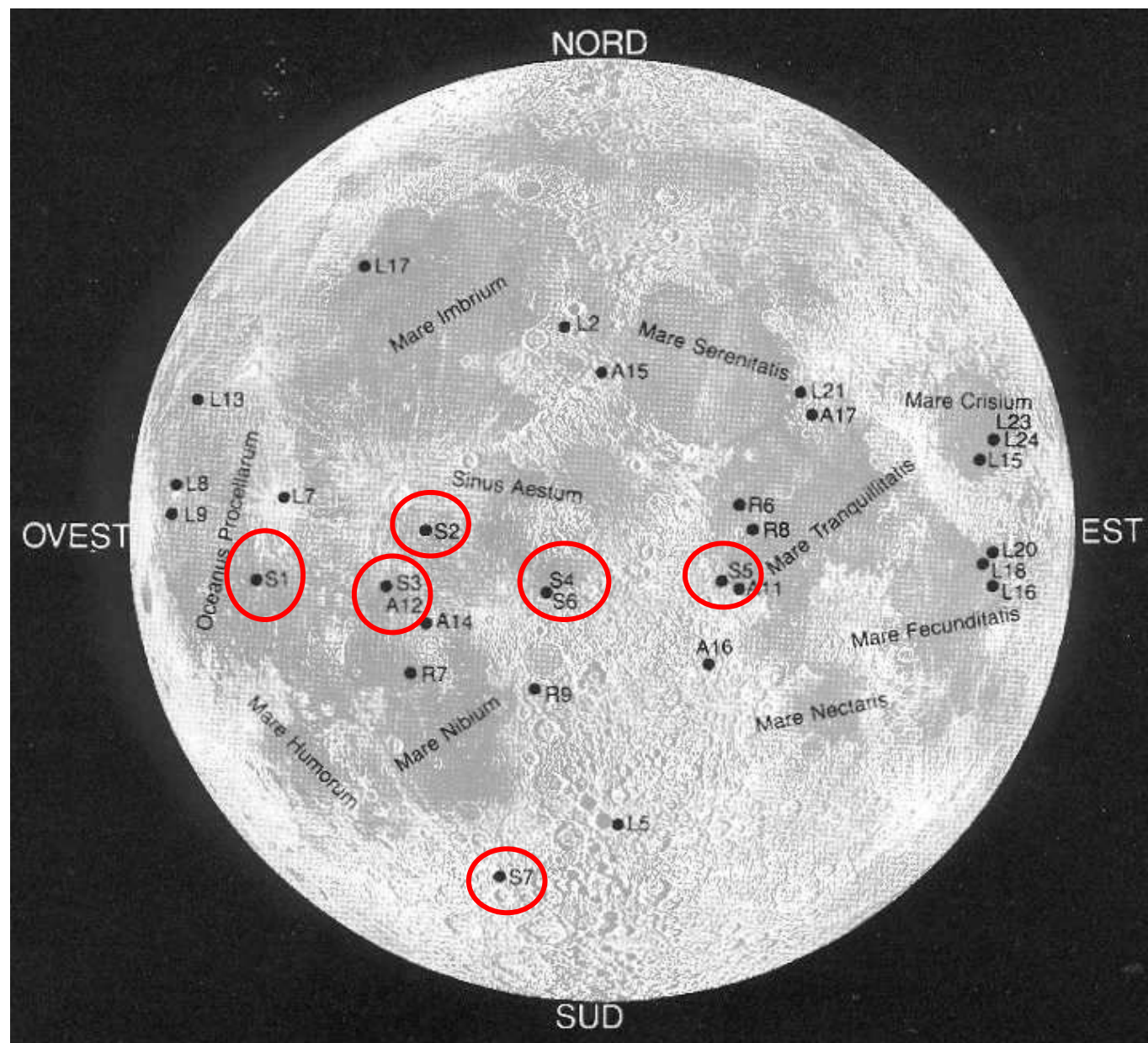
L'esplorazione spaziale

S = SURVEYOR
(USA):

7 missioni

da SURVEYOR 1
(2 giugno 1966)

a SURVEYOR 7
(9 gennaio 1968)

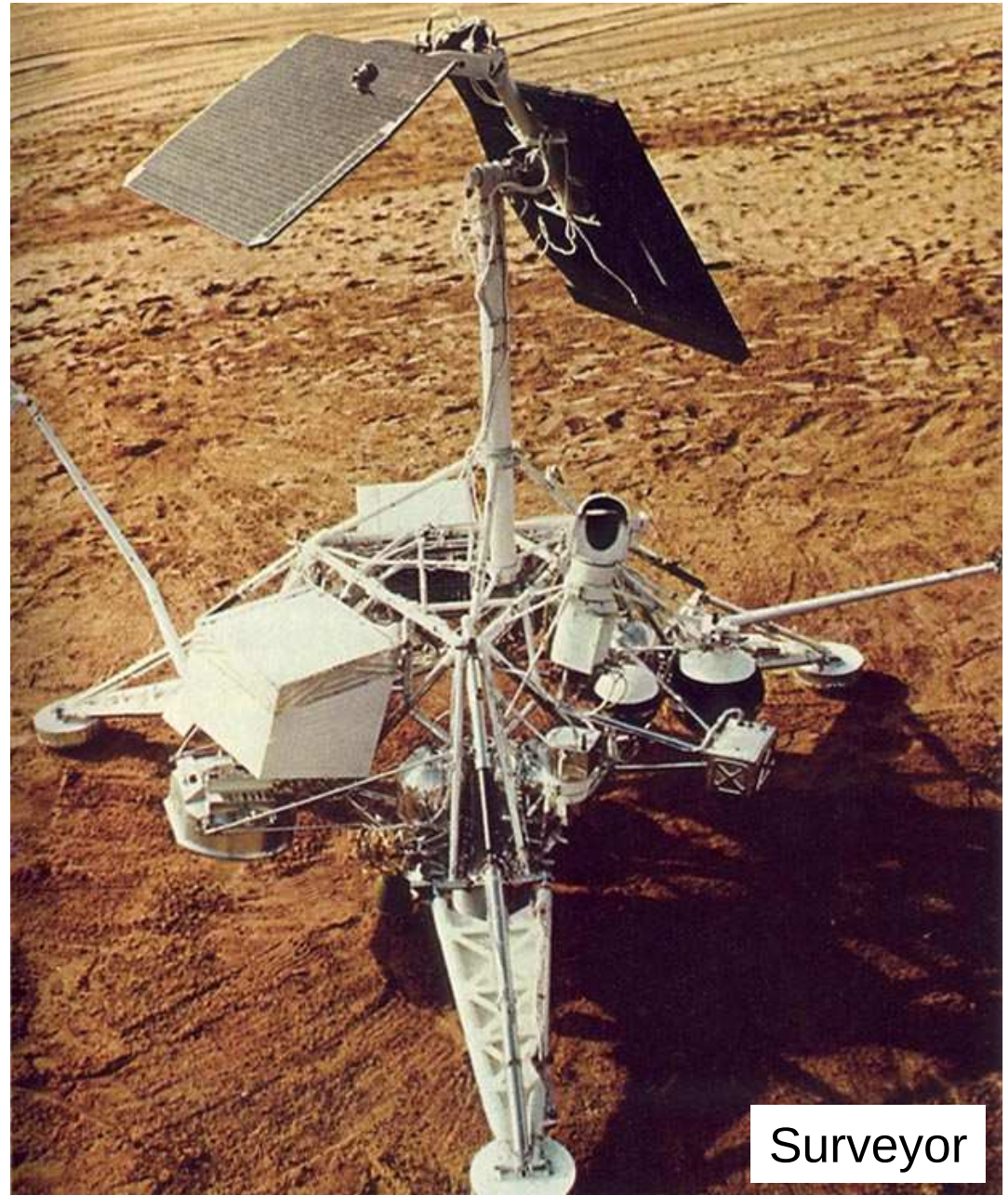


L'esplorazione spaziale

Il programma Surveyor consiste in 7 missioni lanciate tra maggio 1966 e gennaio 1968.

5 hanno effettuato un allunaggio morbido (Surveyor 1, 3, 5, 6, 7).

Oltre alla dimostrazione della fattibilità di allunaggi morbidi (Surveyor 1 alluna 4 mesi dopo LUNA 9) esse riprendono foto lunari e una serie di dati scientifici necessari per le missioni Apollo (specie Surveyor 1, 3, 5, e 6).



Surveyor

L'esplorazione spaziale

Il programma Apollo, pensato come prosecuzione dei programmi Mercury e Gemini, fu completamente riconvertito verso l'obiettivo di allunaggio dal presidente John F. Kennedy con il suo annuncio ad una sessione speciale del Congresso il 25 maggio del 1961.



L'esplorazione spaziale



" ...credo che questo paese debba impegnarsi a realizzare l'obiettivo, prima che finisca questo decennio, di far atterrare un uomo sulla Luna e farlo tornare sano e salvo sulla Terra. Non c'è mai stato nessun progetto spaziale più impressionante per l'umanità, o più importante per l'esplorazione dello spazio; e nessuno è stato così difficile e costoso da realizzare..."



L'esplorazione spaziale



A = APOLLO
(USA):

APOLLO 11
(20 luglio 1969);

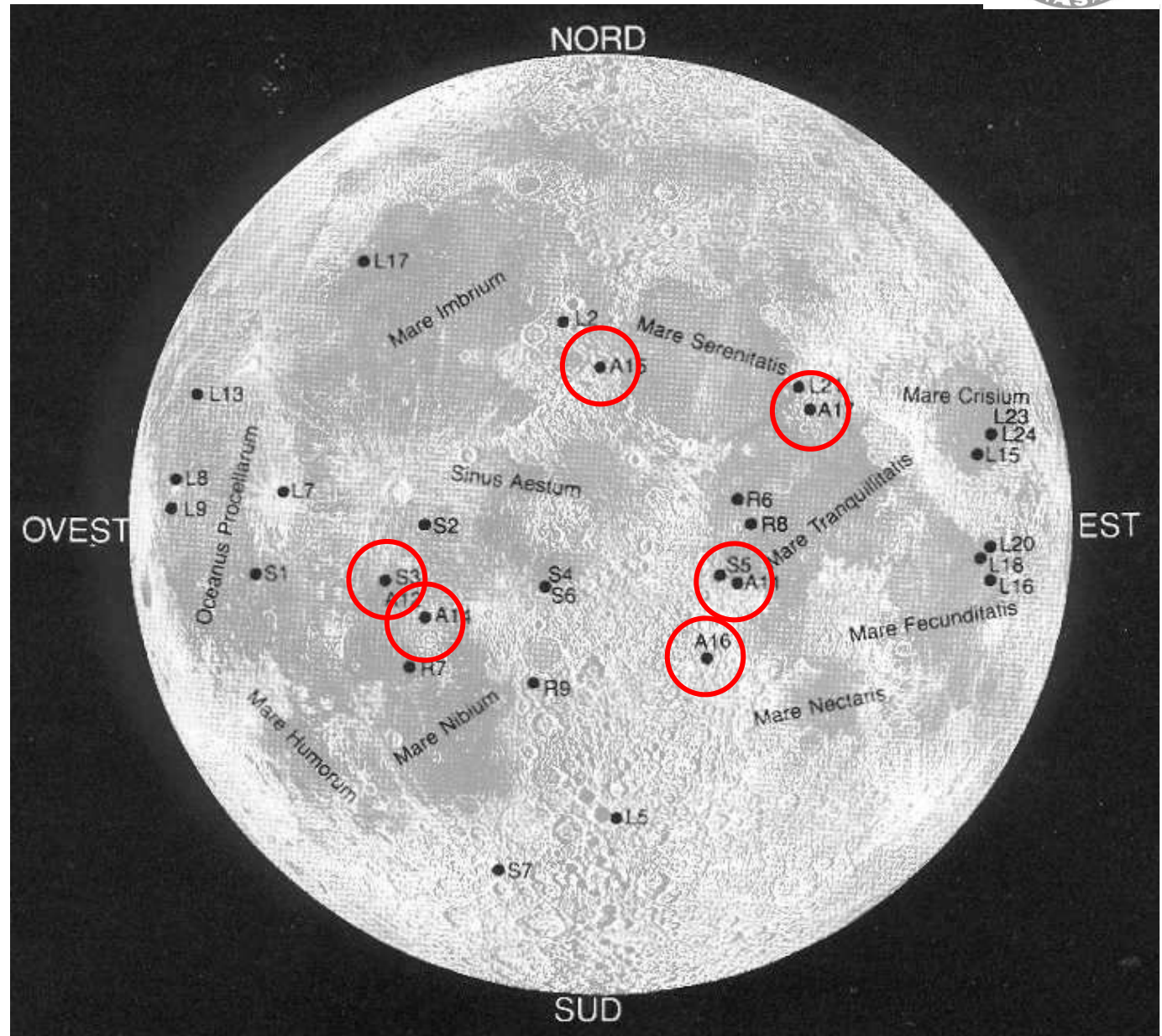
APOLLO 12
(19 novembre 1969);

APOLLO 14
(31 gennaio 1971);

APOLLO 15
(30 luglio 1971);

APOLLO 16
(2 aprile 1972);

APOLLO 17
(11 dicembre 1972)



L'esplorazione spaziale



Le missioni Apollo hanno drammaticamente inizio il 27 gennaio 1967 con la morte dei tre astronauti per un banale contatto elettrico che incendia le capsula spaziale.

Il programma subisce un ritardo di un anno e saltarono le missioni Apollo 2 e 3.

L'Apollo 4 parte il 9 novembre 1967 senza equipaggio a bordo e serve per valutare la potenza del razzo Saturno.

Con l'Apollo 5, il 22 gennaio 1968, viene sperimentato il modulo lunare (L.E.M.) ancora senza equipaggio.

L'Apollo 6, lanciato il 4 aprile 1968, ancora senza equipaggio ha delle noie.

L'Apollo 7, tra l'11 e il 22 ottobre 1968, è un grande successo. Viene infatti sperimentato con successo dagli astronauti a bordo, in orbita terrestre, il meccanismo di aggancio.

L'esplorazione spaziale



Il Saturno-V era il razzo che portava in orbita le astronavi Apollo.

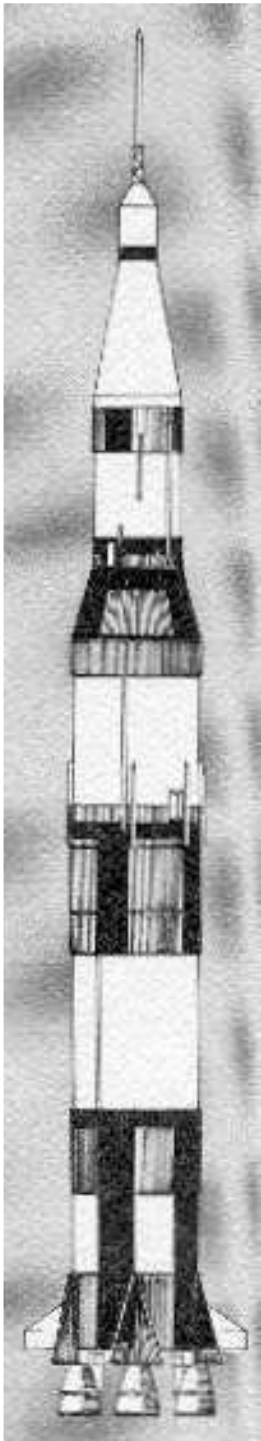
Alto 85 metri poteva trasferire 137 tonnellate in orbite basse oppure 46 tonnellate in orbita lunare.

Durante il programma Apollo poteva raggiungere l'altezza di 110 metri per l'aggiunta dei moduli di comando, di servizio e di sbarco sulla Luna.

Il suo peso era di poco meno di 3.000 tonnellate e i motori gli fornivano una spinta di 4.016 tonnellate.

Era costituito di tre stadi.

Il terzo stadio, dava all'astronave la velocità di 39.270 km/h necessaria per sfuggire alla gravità terrestre.

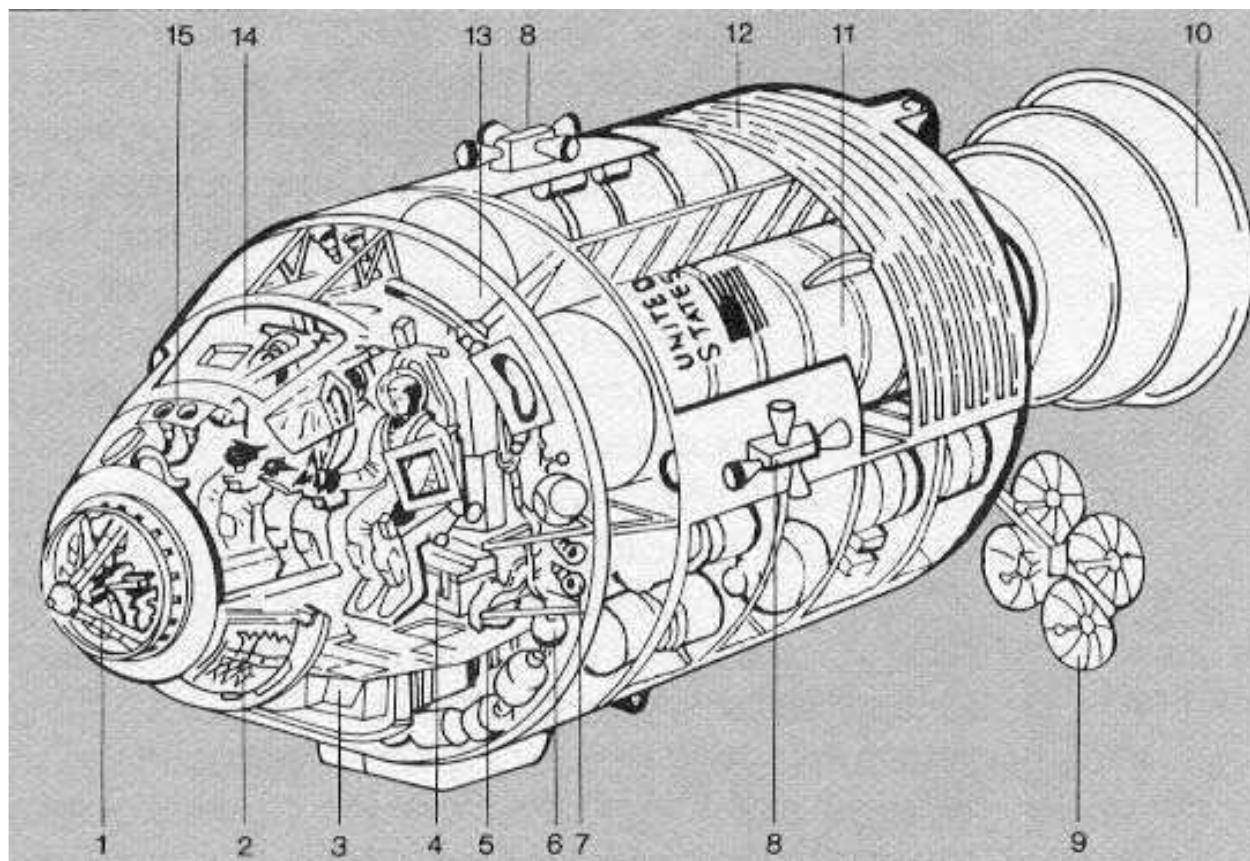


L'esplorazione spaziale



Il **modulo di comando** (dove vivevano i tre astronauti) era un cono con un diametro alla base di 3,9 metri e un'altezza di 3,2 metri.

Il modulo di servizio (inaccessibile agli astronauti) era un cilindro con un diametro alla base di 3,9 metri e un'altezza di 7 metri.



- 1 - sistema di aggancio;
- 2 - paracadute;
- 3 - apparati di guida e navigazione;
- 4 - apparati di comunicazione;
- 5 - batterie;
- 6 - serbatoi propellente motori modulo di comando;
- 7 - propulsori di beccheggio;
- 8 - propulsori d'assetto;
- 9 - antenne per le comunicazioni con la Terra;
- 10 - ugello di scarico del propulsore principale;
- 11 - serbatoi propellente propulsore principale;
- 12 - sistemi di controllo ambientale e per la potenza elettrica;
- 13 - propulsori rollio;
- 14 - portellone d'uscita e d'entrata dal modulo di comando;
- 15 - propulsori di beccheggio.

L'esplorazione spaziale



L'Apollo 8, con i suoi astronauti a bordo, circumnaviga la Luna. È la prima volta che un occhio umano può vedere direttamente la faccia nascosta della Luna da un'altezza di soli 112 km. La missione si sviluppa tra il 21 dicembre e 27 dicembre 1968.

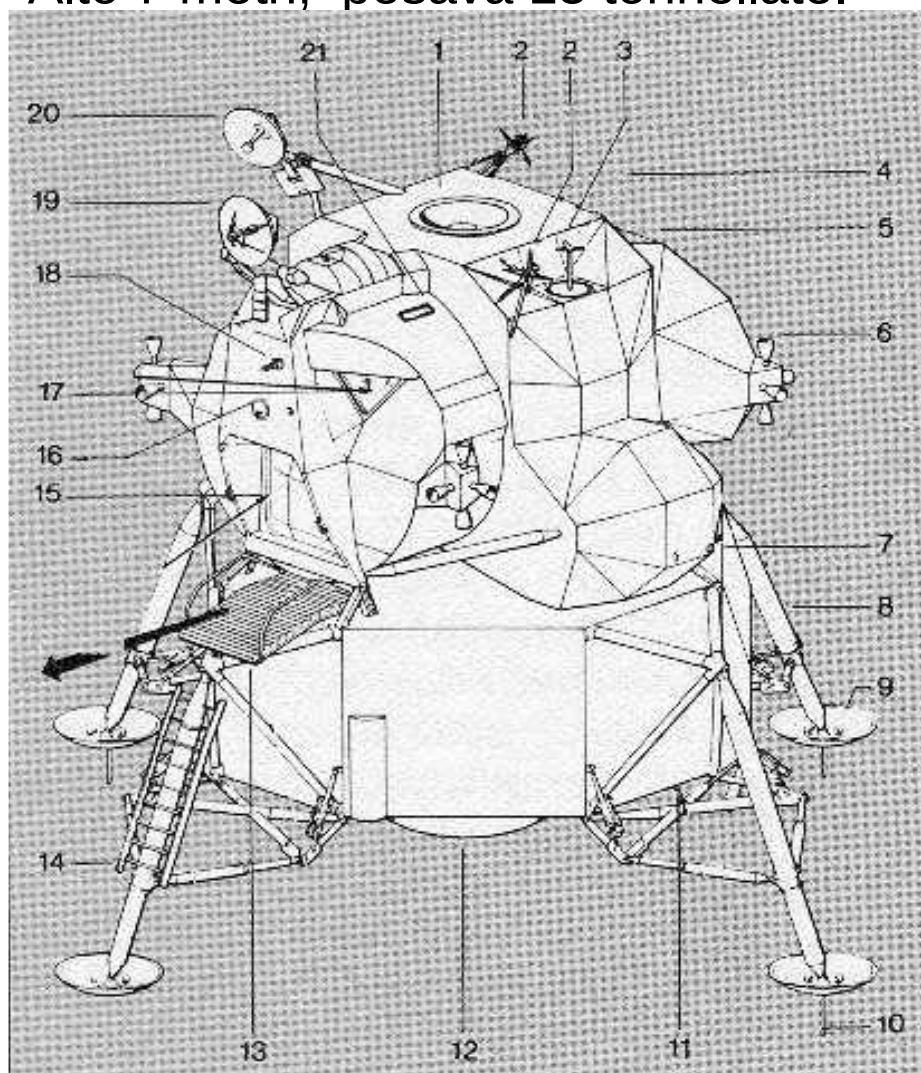


L'esplorazione spaziale



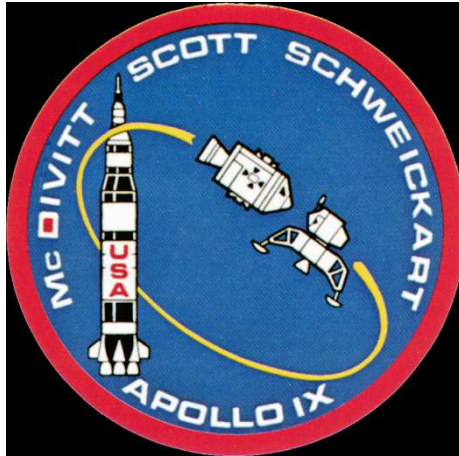
Il **LEM (Lunar Excursion Module)** era il modulo usato dagli astronauti per scendere sulla Luna.

Alto 7 metri, pesava 15 tonnellate.



- 1 - sistema di aggancio orbitale;
- 2 - antenna UHF;
- 3 - riferimento per aggancio in orbita;
- 4 - antenna per i collegamenti durante l'escursione lunare;
- 5 - alloggiamento strumenti;
- 6 - propulsori d'assetto;
- 7 - luci di posizione;
- 8 - gambe per l'allunaggio;
- 9 - piattaforma di base;
- 10 - sonda per rilevare il contatto con il suolo;
- 11 - antenna radar per l'allunaggio;
- 12 - protezione del motore per l'allunaggio;
- 13 - piattaforma d'uscita;
- 14 - scala;
- 15 - portello d'uscita;
- 16 - luce di posizione;
- 17 - finestrelle;
- 18 - antenna per comunicazioni in volo;
- 19 - antenna radar per il rendez-vous nello spazio;
- 20 - antenna per le comunicazioni;
- 21 - visore per il controllo dell'aggancio in orbita.

L'esplorazione spaziale



L'Apollo 9 inizia la sua missione il 3 marzo 1969.

L'obiettivo fu il test del modulo lunare nell'orbita terrestre. Durante la missione vennero eseguite la manovra rendezvous nonché di aggancio tra modulo di comando e modulo lunare.

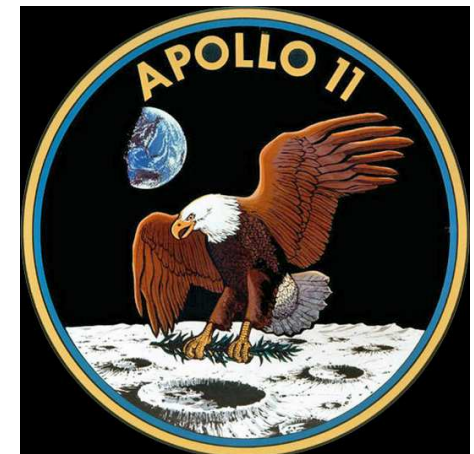
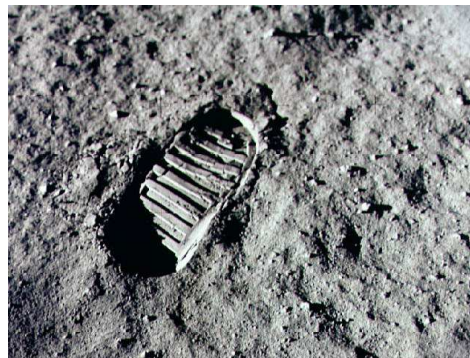


L'Apollo 10 decolla il 18 maggio 1969 con il compito di circumnavigare la Luna e di provare ancora le manovre di sganciamento e di attracco del modulo lunare. La missione è identica a quella che svolgeranno due mesi gli astronauti dell'Apollo 11, tranne che per la discesa sulla Luna.

L'esplorazione spaziale



	Apollo 11
Data del volo	16-24 luglio 1969
Modulo lunare	Eagle
Astronave madre	Columbia
Durata del volo	8gg 3h 18min
Costo (\$)	355.000.000
Sosta sulla Luna	21h 36min
Zona allunaggio	Mare della Tranquillità
Astronauti	Armstrong Aldrin Collins



L'esplorazione spaziale



Il 20 luglio 1969 102 ore 47 minuti e 3 secondi dopo il distacco da Terra, quando in Italia sono le 4 e 45 del mattino del 21 luglio il LEM EAGLE alluna nel Mare della Tranquillità. Sei chilometri dal punto programmato; poco a nord dell'equatore lunare e 23,5° longitudine Est.

L'esplorazione spaziale

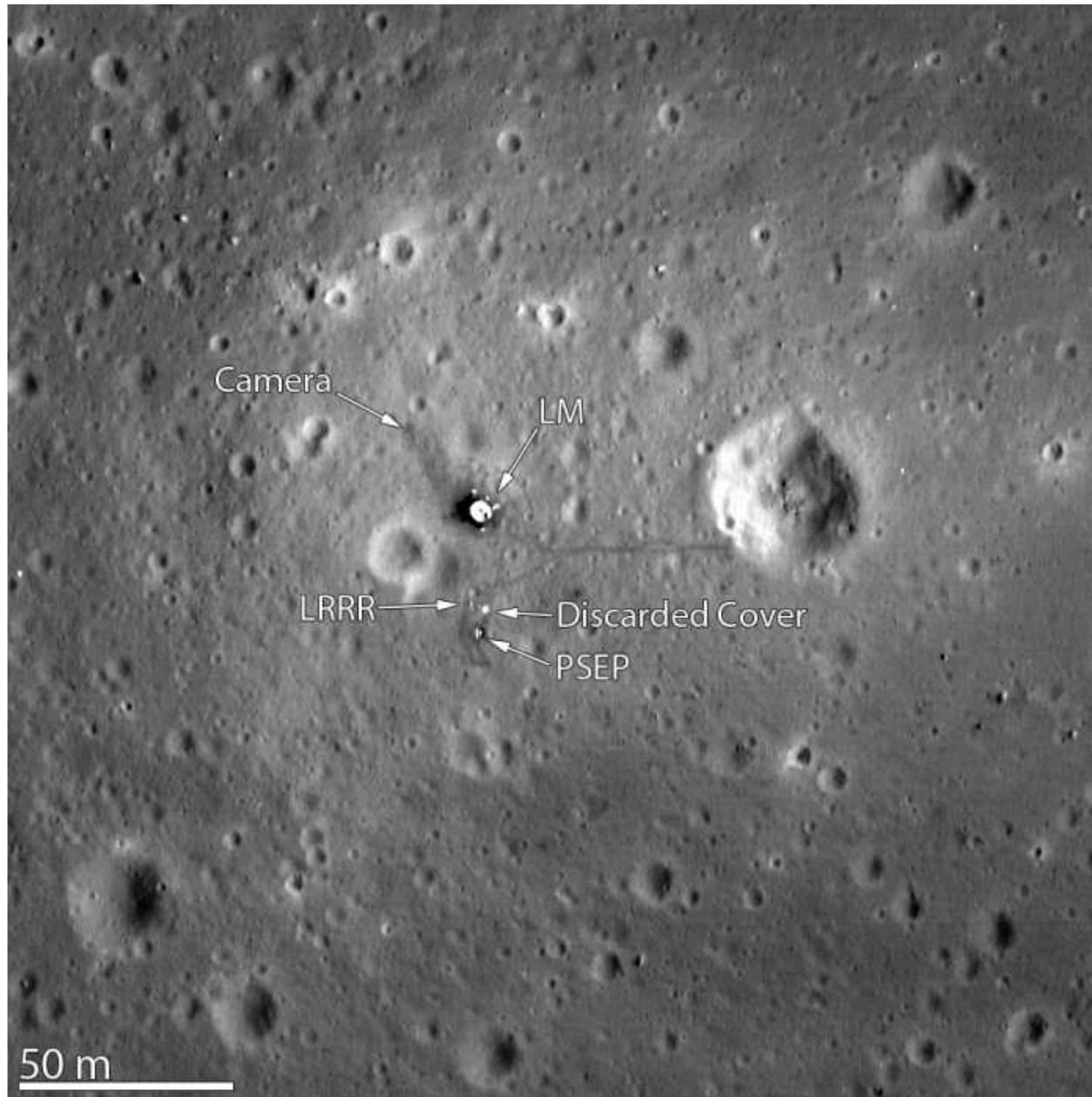
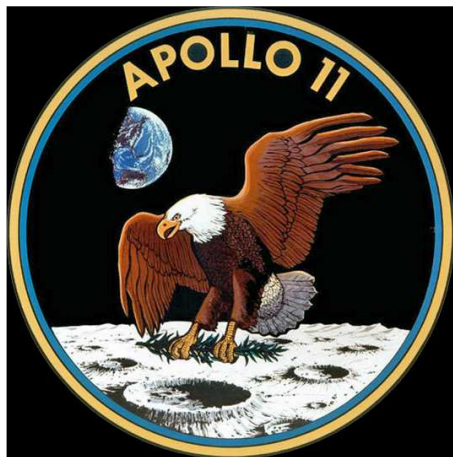


Immagine ottenuta dalla camera LROC che mostra il sito di allunaggio della missione Apollo 11. L'immagine è stata scattata il 5 Novembre 2011.

Credit:
NASA/GSFC/Arizona State University



L'esplorazione spaziale

Allunaggio





L'esplorazione spaziale

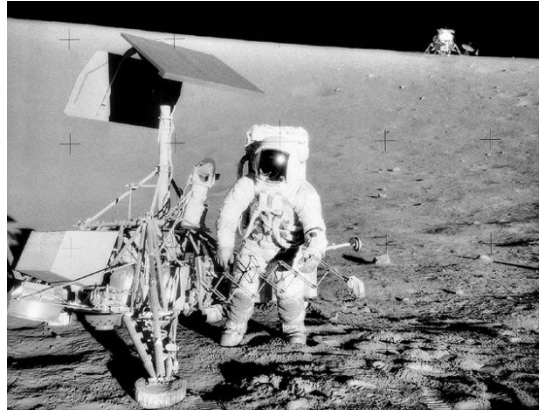
Passeggiata lunare



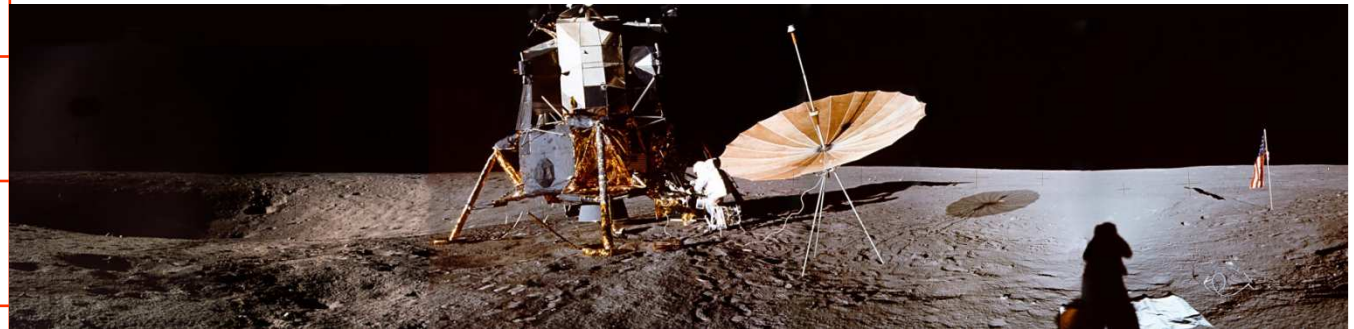
L'esplorazione spaziale



	Apollo 12
Data del volo	14-24 novembre 1969
Modulo lunare	Intrepid
Astronave madre	Yankee Clipper
Durata del volo	10gg 4h 36min
Costo (\$)	357.000.000
Sosta sulla Luna	31h 31min
Zona allunaggio	Oceano delle tempeste
Astronauti	Conrad Bean Gordon



Conrad vicino al Surveyor 3.
Sullo sfondo il Modulo Lunare.

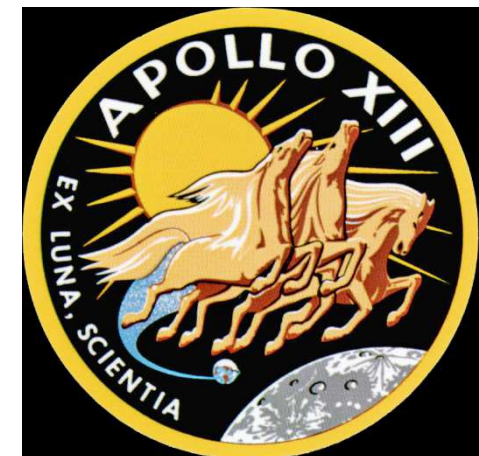
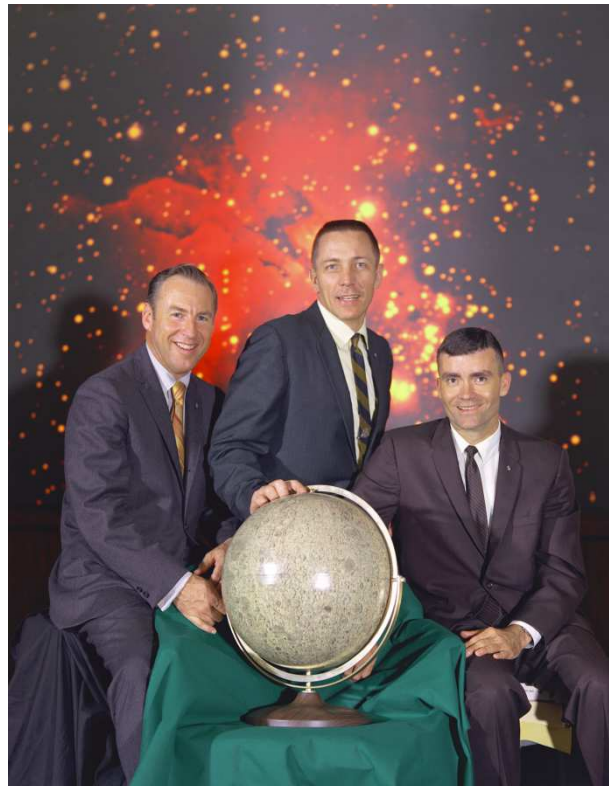


L'esplorazione spaziale



	Apollo 13
Data del volo	11 – 17 aprile 1970
Modulo lunare	Aquarius
Astronave madre	Odyssey
Durata del volo	5gg 22h 52min
Costo (\$)	450.000.000
Sosta sulla Luna	-
Zona allunaggio	-
Astronauti	Lowell Swingert Haise

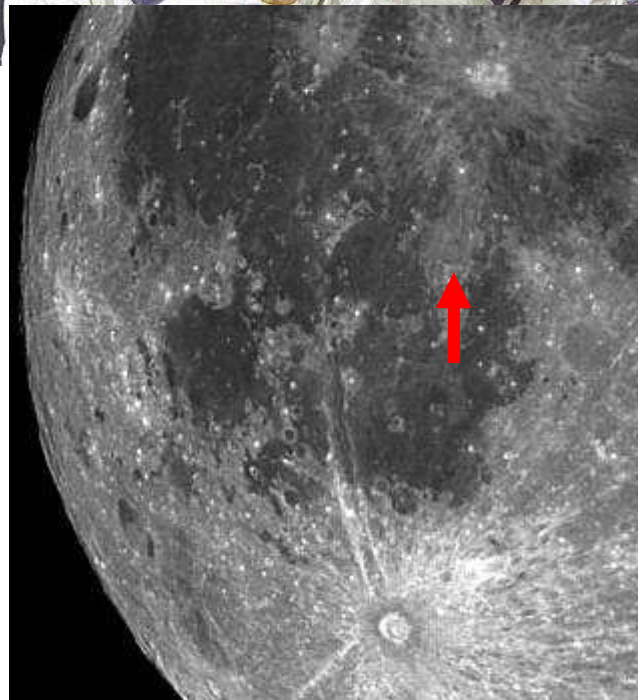
Un guasto al modulo di comando impedì lo svolgimento della missione.
Gli astronauti rientrarono sulla Terra grazie al LEM



L'esplorazione spaziale



	Apollo 14
Data del volo	31 gennaio – 9 febbraio 1971
Modulo lunare	Antares
Astronave madre	Kitty Hawk
Durata del volo	9gg 0h 2min
Costo (\$)	400.000.000
Sosta sulla Luna	33h 30min
Zona allunaggio	Fra Mauro
Astronauti	Shepard Mitchell Roosa



L'esplorazione spaziale



	Apollo 15
Data del volo	26 luglio – 7 agosto 1971
Modulo lunare	Falcon
Astronave madre	Endeavour
Durata del volo	12gg 7h 12min
Costo (\$)	445.000.000
Sosta sulla Luna	66h 5min
Zona allunaggio	Appennini-Hadley
Astronauti	Scott Irwin Wonder



L'esplorazione spaziale



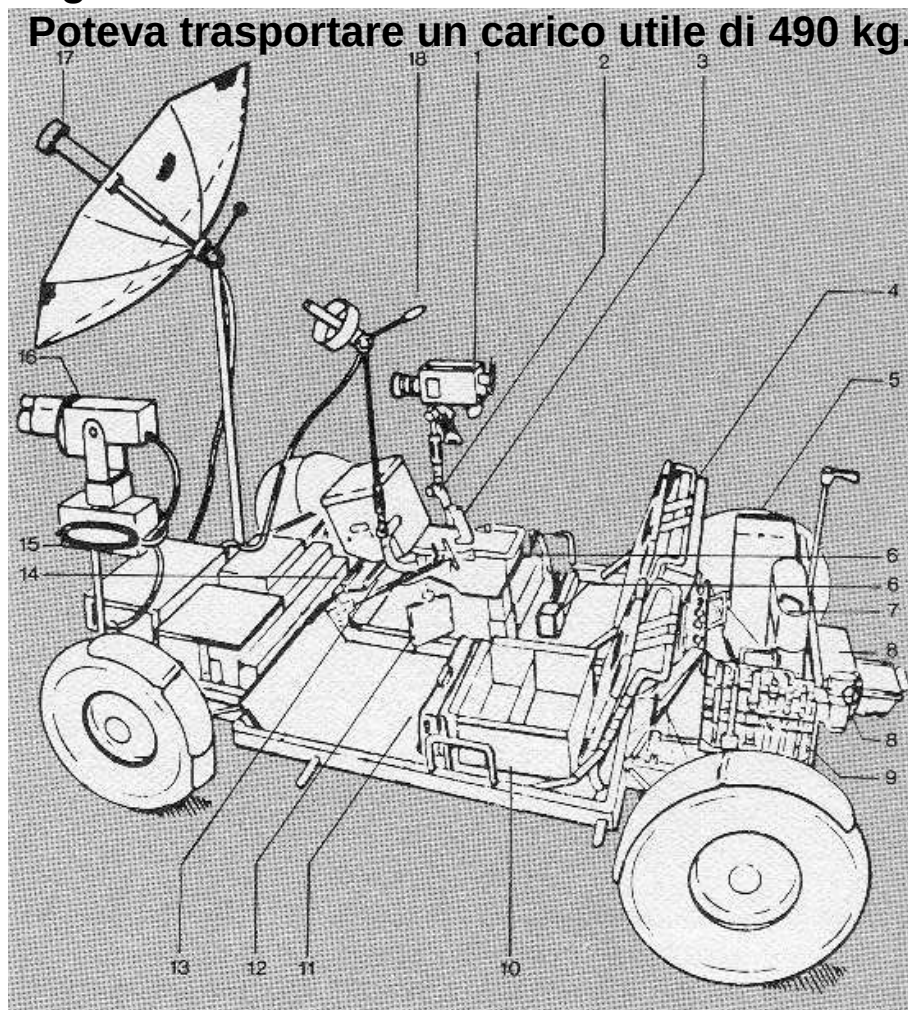
La Lunar Rover, costruita dalla Boeing, è l'automobile lunare usata nelle missioni dell'Apollo-15, 16, 17.

Era lunga 310 cm, pesava sulla Terra 209 kg e poteva raggiungere la velocità di 17 km/h.

Aveva un raggio d'azione di 10 km dal punto dell'allunaggio.

Ogni ruota era azionata da un motore elettrico autonomo e aveva un'autonomia di 78 ore.

Poteva trasportare un carico utile di 490 kg.



- 1 – cinepresa 16 mm;
- 2 – impugnatura;
- 3 – controllo a mano;
- 4 – sistema per lo scambio di ossigeno tra le tute lunari degli astronauti;
- 5 – perforatrice;
- 6 – caricatori cinepresa
- 7 - fotocamera spettroscopica;
- 8 – ripostigli per il magnetometro;
- 9 – porta attrezzi;
- 10 – cassetta per la raccolta dei campioni lunari;
- 11 – spazzola lunare;
- 12 - distributore;
- 13 – pinze per raccogliere i campioni;
- 14 – fotocamera da 70 mm;
- 15 – ripetitore per le comunicazioni radio con la Terra;
- 16 - telecamera;
- 17 – antenna ad alto guadagno per le comunicazioni con la Terra;
- 18 - antenna a basso guadagno.

L'esplorazione spaziale



	Apollo 16
Data del volo	16 – 27 aprile 1972
Modulo lunare	Orion
Astronave madre	Casper
Durata del volo	11gg 1h 51min
Costo (\$)	450.000.000
Sosta sulla Luna	71h 2min
Zona allunaggio	Cartesio-Cayley
Astronauti	Mattingly Young Duke



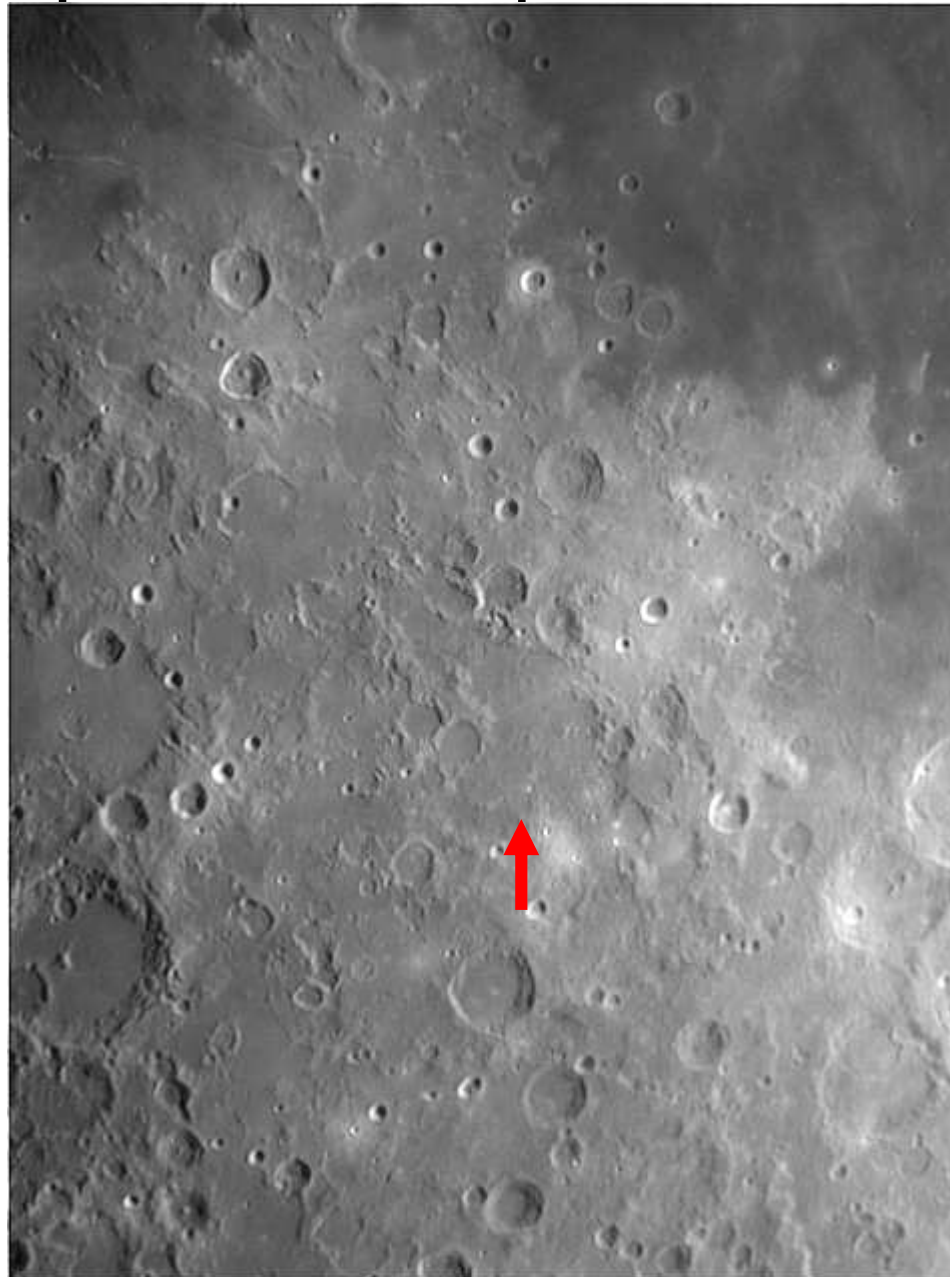
Il modulo lunare Orion e il rover lunare - foto scattata da Charles M. Duke.



L'esplorazione spaziale



	Apollo 16
Data del volo	16 – 27 aprile 1972
Modulo lunare	Orion
Astronave madre	Casper
Durata del volo	11gg 1h 51min
Costo (\$)	450.000.000
Sosta sulla Luna	71h 2min
Zona allunaggio	Cartesio-Cayley
Astronauti	Mattingly Young Duke

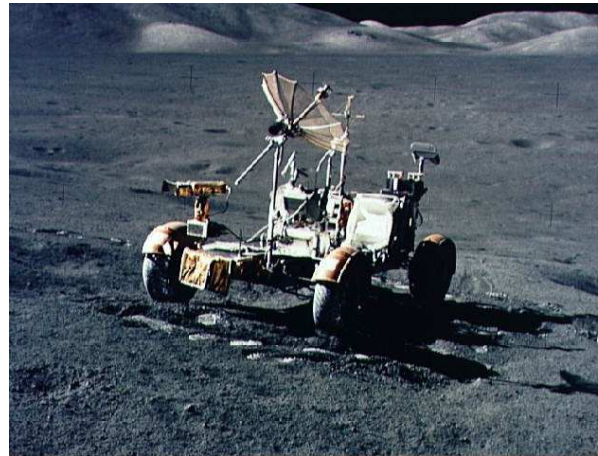


L'esplorazione spaziale

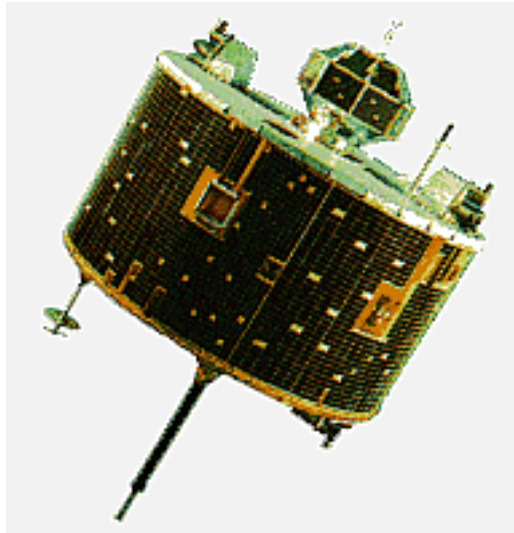


L'ultima missione Apollo

	Apollo 17
Data del volo	7 – 19 dicembre 1972
Modulo lunare	Challenger
Astronave madre	America
Durata del volo	12gg 16h 31min
Costo (\$)	450.000.000
Sosta sulla Luna	75h 1min
Zona allunaggio	Taurus-Littrow
Astronauti	Cernan Schmitt Evans



L'esplorazione spaziale



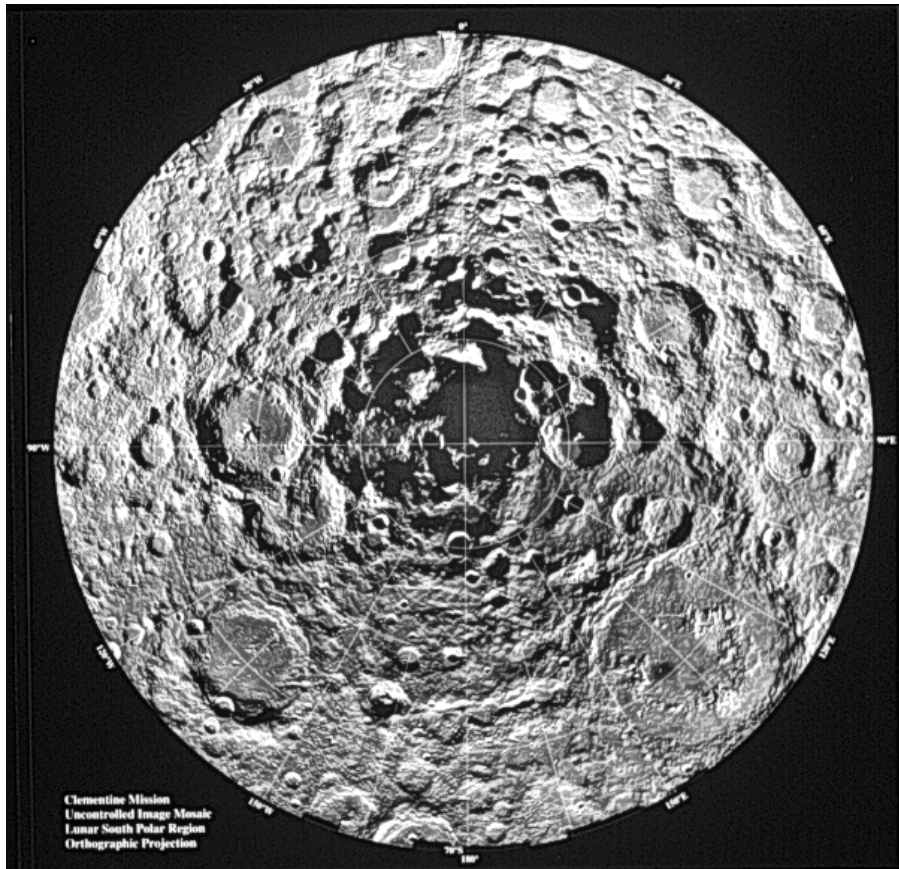
Dopo le missioni Apollo, l'esplorazione della Luna continuò con le missioni sovietiche LUNA, fino al 1976; poi, per 14 anni, non ve ne furono altre fino alla giapponese HITEN che venne lanciata il 24 gennaio 1990.

Scopo della missione era di testare tecnologie necessarie per future missioni spaziali lunari o planetarie.

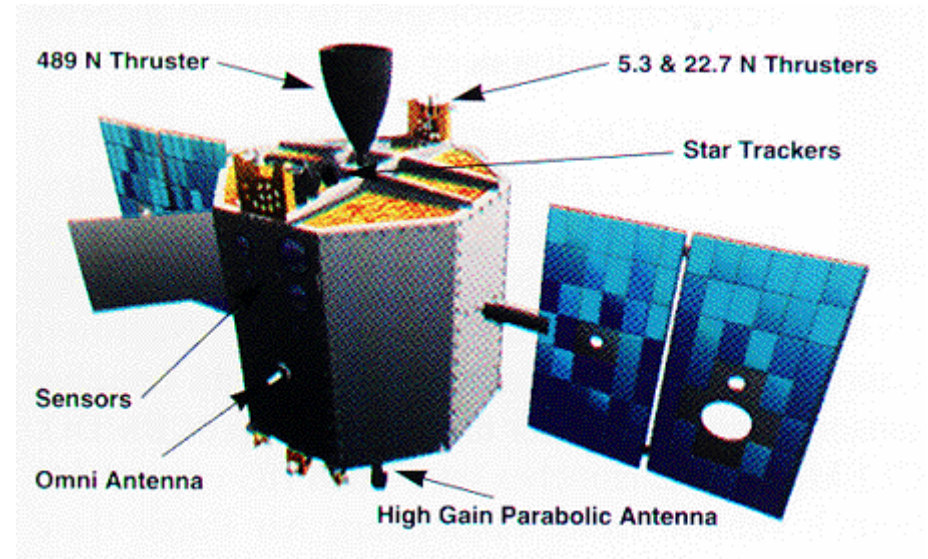
In seguito al lancio sbagliato, che non ha permesso il raggiungimento dell'orbita desiderata, per raggiungere la Luna sono state sviluppate delle rotte alternative a basso consumo di carburante.

La missione è terminata il 10 aprile 1993, quando la sonda è stata fatta impattare intenzionalmente sulla Luna.

L'esplorazione spaziale



Uno dei risultati più eclatanti è la possibilità che nei crateri polari della Luna potrebbe esserci del ghiaccio.



Ancora una pausa di 4 anni e poi il 25 gennaio 1994 parte la sonda americana Clementine.

Dopo l'EXPLORER 49 del 1974 è la prima volta che gli americani ritornano sulla Luna.

Tra i compiti della sonda c'era una mappatura ad alta risoluzione della Luna.

L'esplorazione spaziale



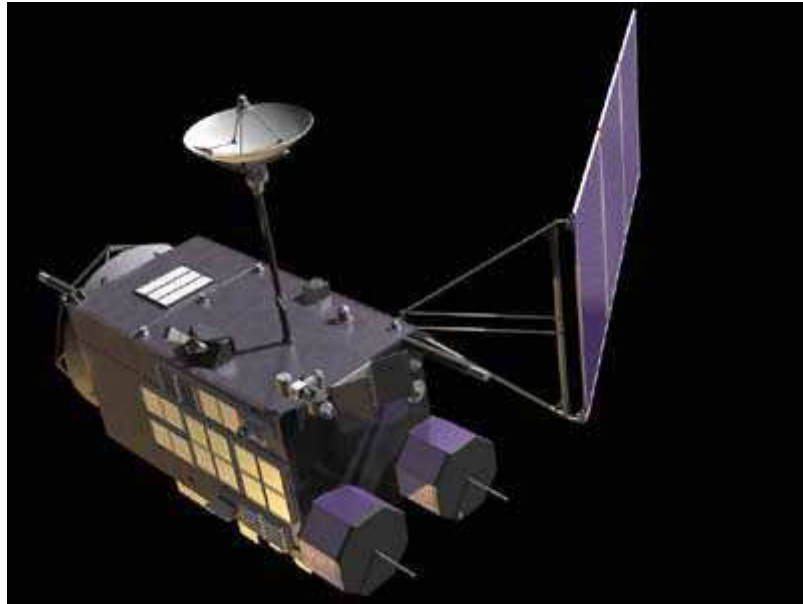
Anche l'Europa va sulla Luna.

Con Smart – 1 l'ESA propone una tecnologia innovativa per il volo spaziale, il motore a ioni.

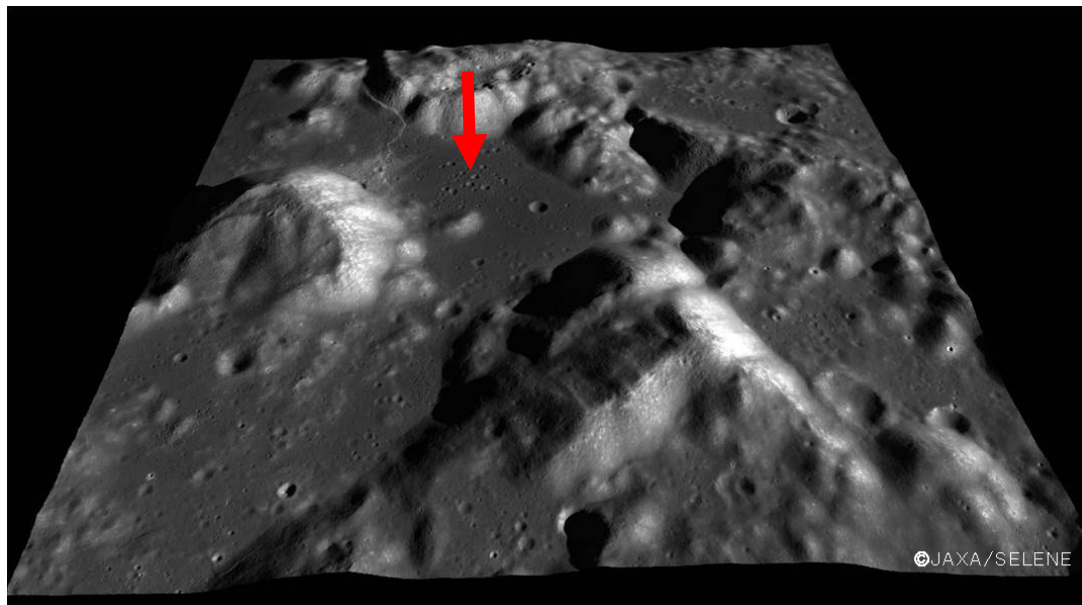
La sonda viene lanciata il 27 settembre 2003 da Kourou, nella Guiana Francese da una Ariane-5 Cyclade (che lancia anche altri due satelliti).

Al termine della missione viene fatto impattare sulla Luna il 3 settembre 2006, alle 5:42 UT.

L'esplorazione spaziale

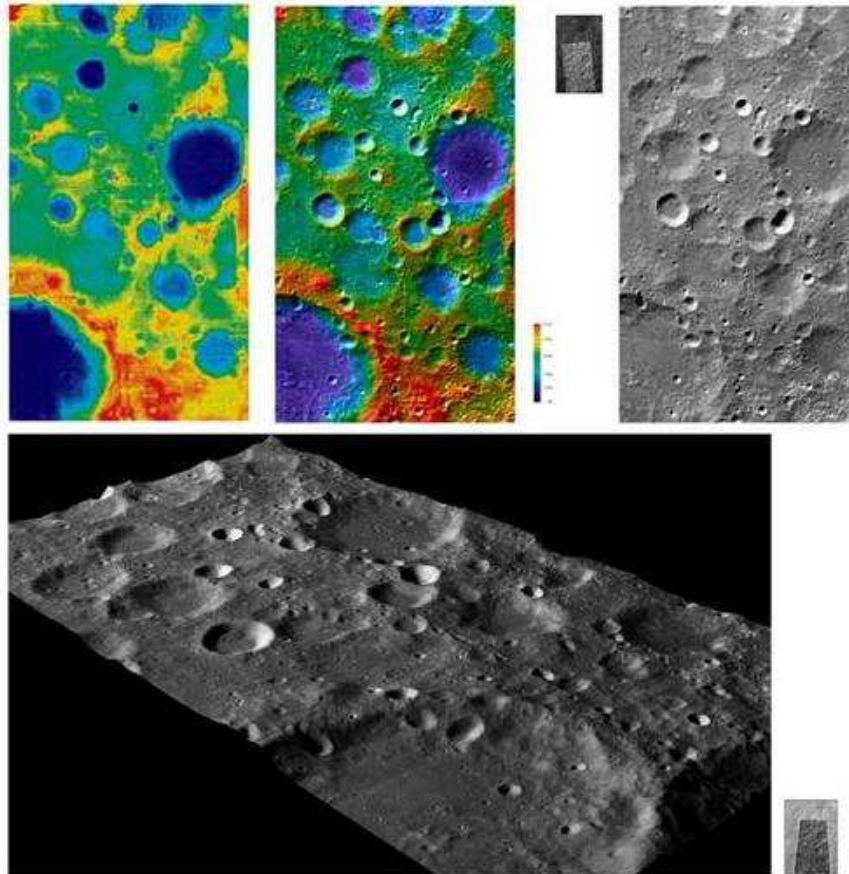


La Kaguya
(formalmente SELENE,
per SELEnological and
ENgineering Explorer),
è una sonda
dell'Agenzia Spaziale
Giapponese lanciata il
14 settembre 2007.



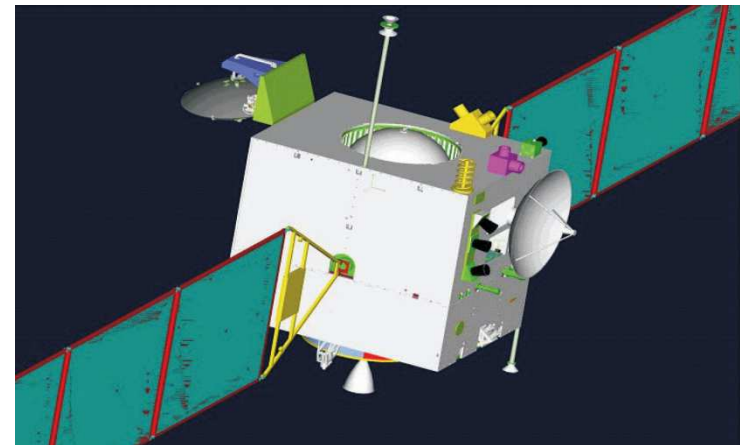
La freccia indica il sito
di allunaggio dell'Apollo
17 ripreso dalla
Kaguya.

L'esplorazione spaziale



La sonda cinese Chang'e 1 è stata lanciata il 24 ottobre 2007 dal centro spaziale di Xichang nella provincia di Sichuan. Il compito è quello di realizzare una mappa tridimensionale della superficie della Luna e la ricerca di siti utili ad un allunaggio morbido, per questo scopo verrà usata un'orbita che permetterà l'osservazione completa della Luna.

Altro obiettivo è la ricerca di materiali utili sulla superficie e la loro distribuzione



L'esplorazione spaziale

Le missioni lunari hanno permesso di avere una buona conoscenza del nostro satellite, ma quello che più attrae l'immaginario collettivo sono i programmi per la colonizzazione della Luna.

Ai tempi dell'Apollo 11 ci dicevano che entro il 2000 avremmo avuto delle colonie stabili sulla Luna ...

