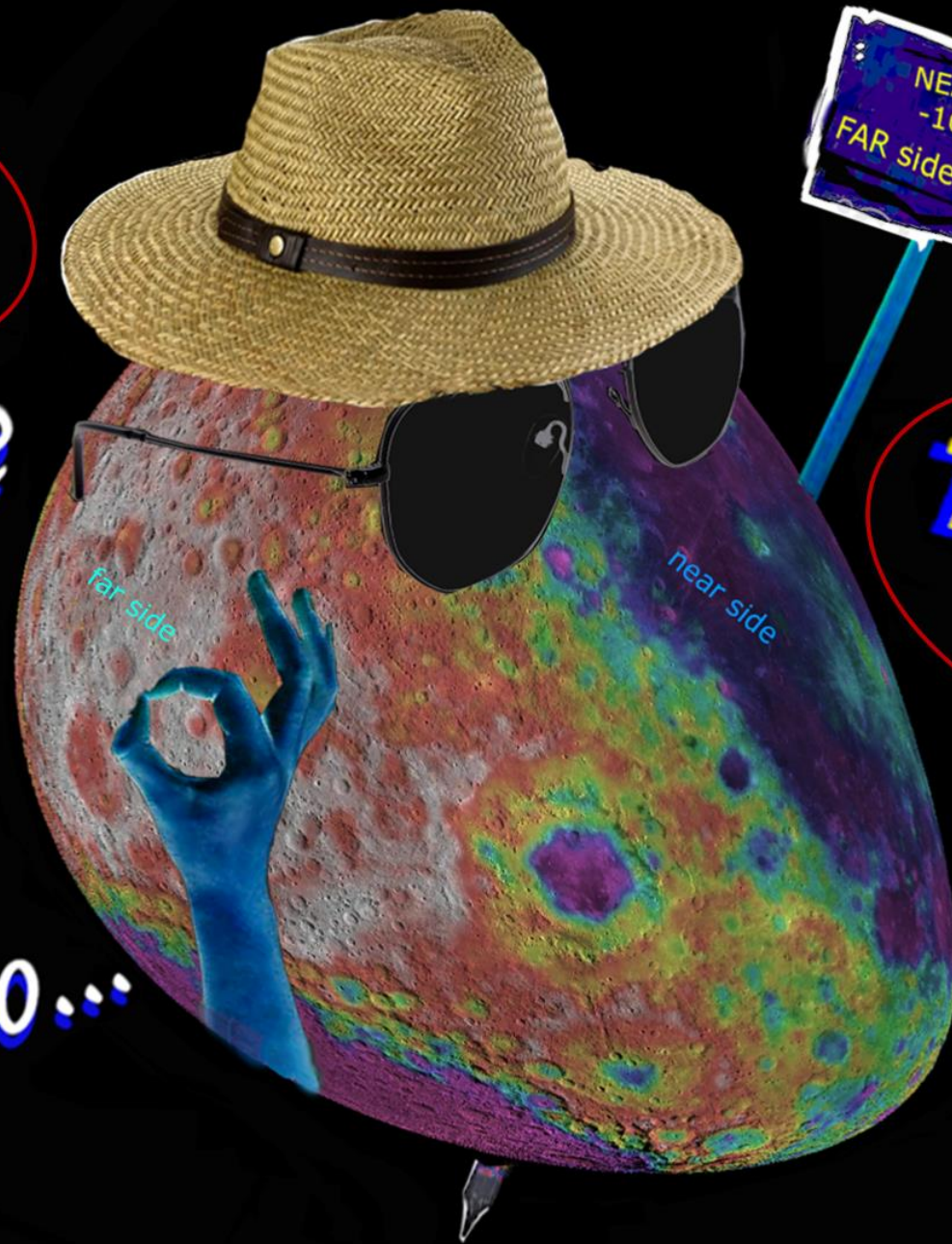


La gobba
della Luna

NEAR side
-1600 mt
FAR side +1600 mt

The lunar's
hump

Asimmetrie
Geofisiche
Lunari
e non solo...



- Globi lunari e sovrainpressioni: Dal software "**VMA - Virtual Moon Atlas**, versione 8.2".

- Realizzazione grafica a cura di "**Astronomica Langrenus** (Cremona, Italy)

Limite di Roche

La distanza minima dal centro di un pianeta alla quale un satellite può orbitare senza essere distrutto dalle forze mareali



In dettaglio:

- Densità LUNA: 3,33 g/cm³
- Densità TERRA: 5,52 g/cm³
- Raggio Medio Terrestre: 6371 km x 2,9
(consid. differenza densità Terra/Luna):

Limite di Roche a circa **18476 km**
dal centro della TERRA



Formazione
anelli o nubi di
detriti intorno alla
TERRA

A

L'età della Luna? 4510 milioni di anni: 100 milioni in più del previsto..!

L'eccesso dell'Isotopo "Tungsteno-182" (W-182) nei campioni lunari analizzati è dovuto al decadimento dell'Isotopo "Afnio-182" (Hf-182) in "W-182" esistito solo per i primi 50 milioni di anni dopo la formazione del Sistema Solare.

Detriti espulsi **SOTTO**
"Limite di Roche":
Circa **18476 km** dal
centro della TERRA

Sistema Solare:
4,56 miliardi di anni
Il grande impatto!!
LUNA: 4,51
miliardi di anni



I detriti formano
un corpo sferico
(La Luna)

B

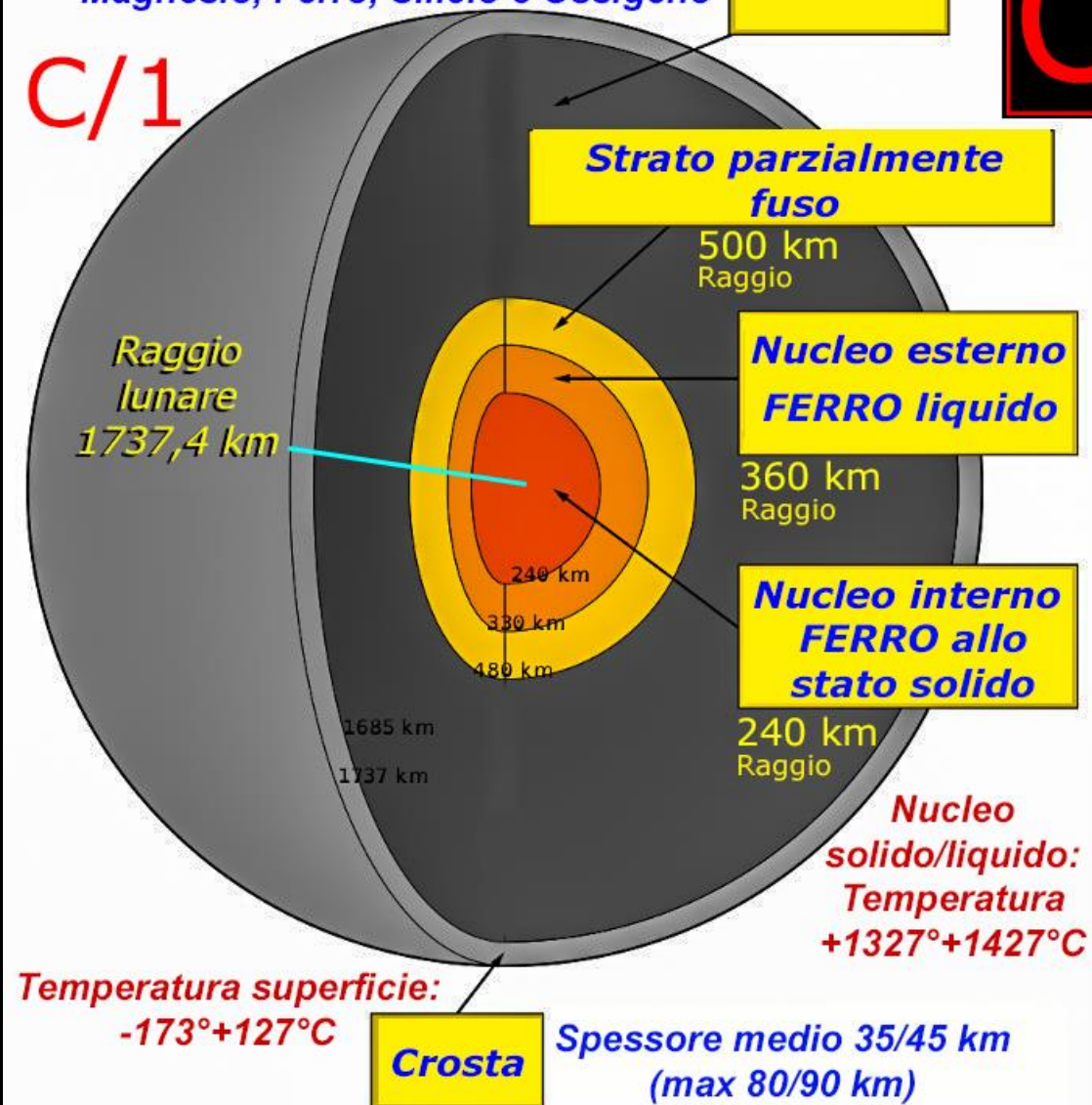
Detriti espulsi **SOPRA**
"Limite di Roche":
Circa **18476 km** dal
centro della TERRA

- **Mantello:** Olivina e minerali di Magnesio, Ferro, Silicio e Ossigeno

Mantello

C/1

C



Asimmetrie Geofisiche Lunari

Partiamo dal Nucleo della Luna....

C/2



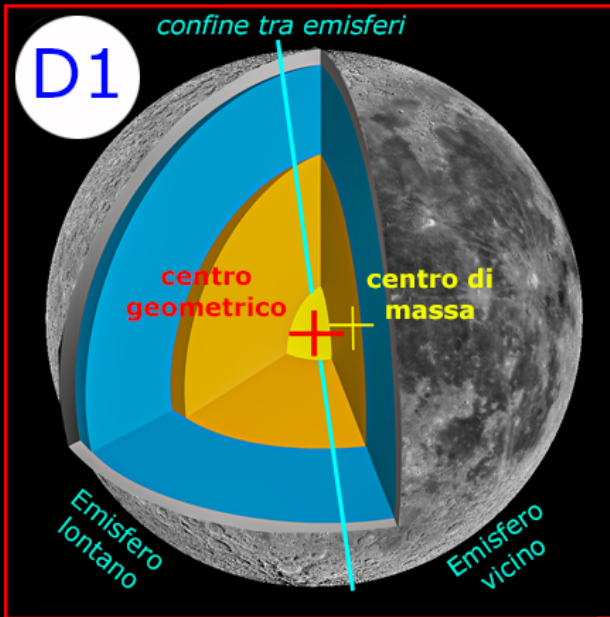
Olivina è un minerale significativo sia per la Terra che per la Luna, con una presenza rilevante nei rispettivi mantelli e nelle rocce magmatiche lunari

Astronomica
Langrenus

- **Composizione:** Oltre al **FERRO**, il nucleo interno contiene una piccola quantità di **NICHEL** e **ZOLFO**.
- **Stato fisico:** Mentre il nucleo esterno è liquido, il nucleo interno è solido, proprio come quello della Terra.
- **Dimensioni:** Il nucleo interno ha un raggio di circa 240 km, mentre il nucleo esterno, liquido, si estende fino a circa 360 km di raggio.

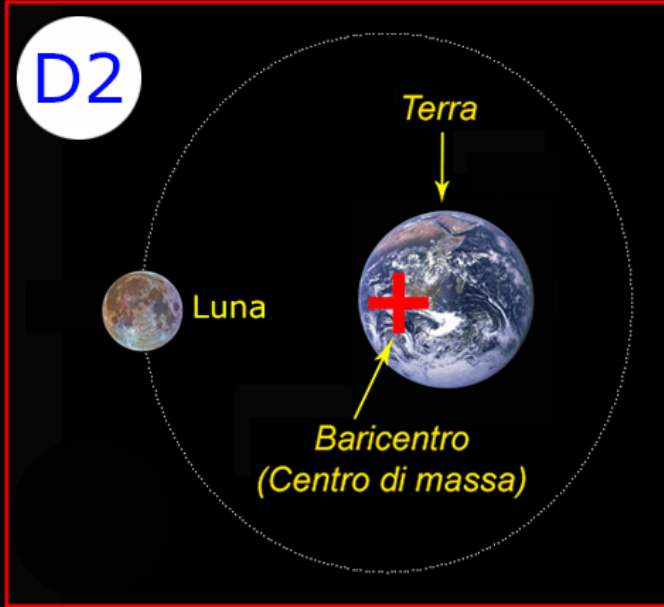
Centro di massa e centro geometrico della Luna

Il centro geometrico della Luna si trova nel suo centro fisico. A causa della sua composizione interna non omogenea e della presenza di una crosta, un mantello e un nucleo differenziati, il centro di massa non coincide esattamente con il centro geometrico, ma è leggermente spostato verso la Terra (per circa 2 km) a causa della maggiore attrazione gravitazionale del nostro pianeta.



Il centro geometrico è una nozione geometrica, mentre il centro di massa tiene conto della distribuzione della massa e delle forze gravitazionali che agiscono su di essa. Nel caso della Luna, la differenza tra i due è piccola, ma significativa dal punto di vista astronomico.

Il "Sistema Terra-Luna"



Il "Sistema Terra-Luna" è un sistema dinamico in cui i due corpi celesti ruotano intorno ad un centro di massa comune chiamato "baricentro" che si trova all'interno della Terra.

Baricentro "Sistema Terra-Luna":
1700 km sotto la superficie terrestre,
4600 km dal centro della Terra.

Baricentro del nostro Sistema Solare

D3

Dov'è il baricentro tra la Terra e il Sole?

Astronomica
Langrenus

La posizione del baricentro è determinata dalla distribuzione della massa all'interno del Sistema Solare. Quindi, la presenza di pianeti massicci come Giove sposta il baricentro rispetto al centro del Sole.

Anche il nostro intero sistema solare ha un baricentro. Il sole, la Terra e tutti i pianeti del sistema solare orbitano attorno a questo baricentro. E' la combinazione dei centri di massa di ogni oggetto nel sistema solare. Questo baricentro cambia costantemente posizione in base a dove si trovano i pianeti nelle loro orbite.

Quando gli effetti dei centri di massa si sommano il risultato è che il centro di massa del Sistema Solare si trova all'esterno del Sole, fino a 700.000 km dalla sua fotosfera.

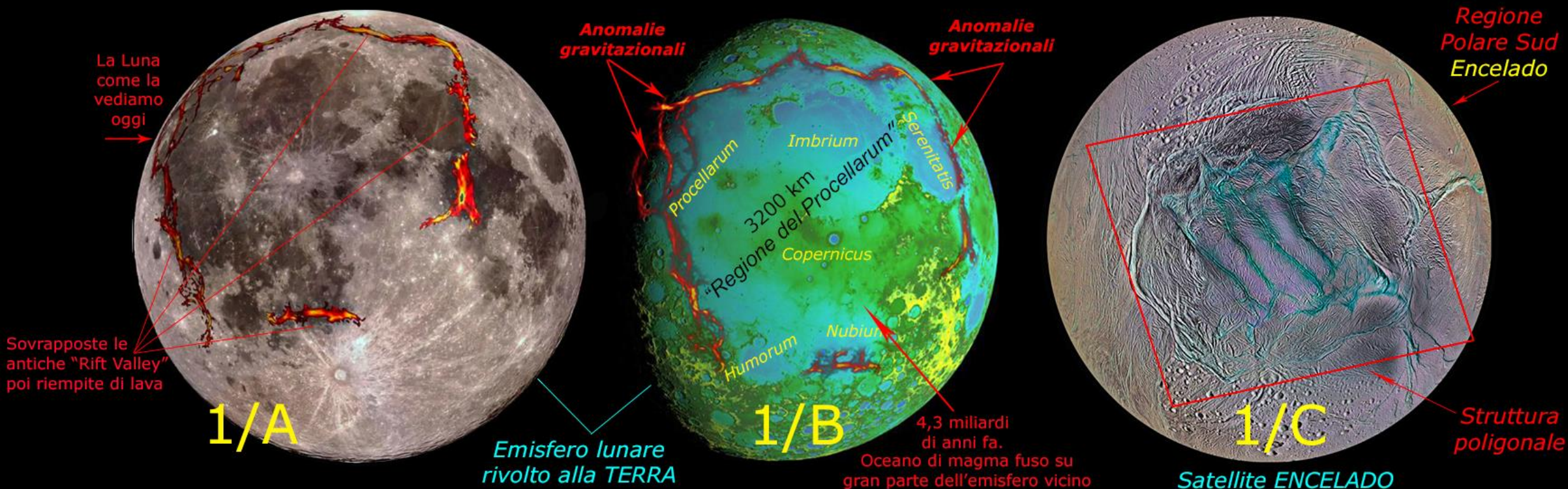


>> "Ci viene naturale pensare che noi orbitiamo attorno al centro del Sole, ma questo accade davvero raramente", ha detto lo scienziato O'Donoghue: "È molto raro che il centro di massa del Sistema Solare si allinei con il centro del Sole".

Grandiosi sconvolgimenti nel sottosuolo lunare: L'evento di AITKEN all'origine dell'Oceanus Procellarum ?

Astronomica
Langrenus

Illustrate differenti teorie riguardo la formazione dell'Oceanus Procellarum, dalle antiche "Rift Valley" nascoste sotto antiche pianure basaltiche dell'emisfero rivolto alla Terra, rilevate dai dati del "Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) della NASA, fino all'ipotetico impatto con un grande asteroide, teoria questa in netto contrasto con la configurazione rettangolare di questa vastissima area nota come "Regione del Procellarum" in quanto la caduta di un asteroide avrebbe provocato un bacino di forma circolare, a fronte di una distribuzione rettangolare delle anomalie gravitazionali.



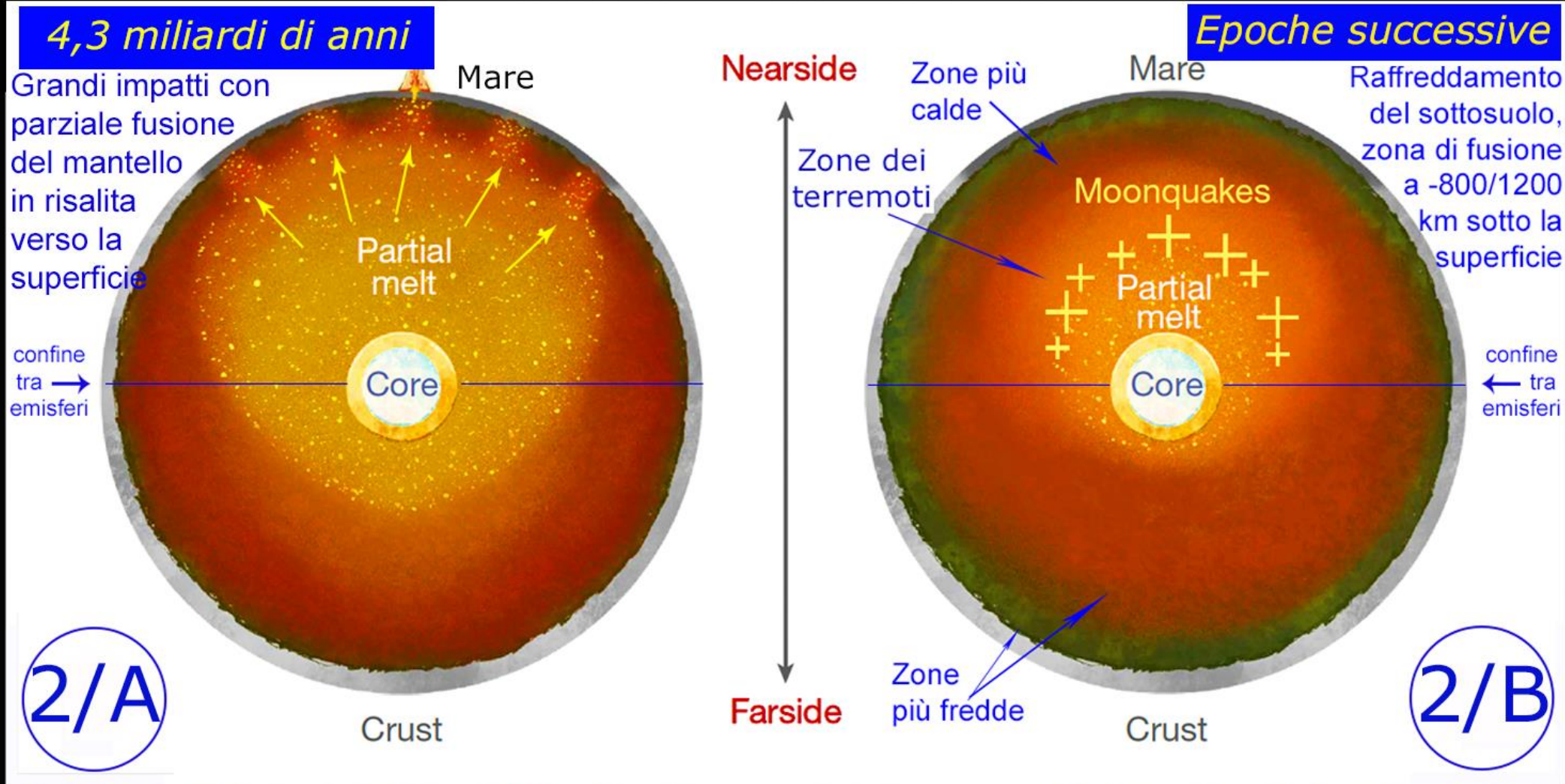
Secondo altre analisi dei dati "GRAIL", questi indicano la possibilità che giganteschi sconvolgimenti nel sottosuolo della Luna abbiano portato ad una elevata concentrazione di elementi radioattivi producendo calore nella crosta e nel mantello di questa vastissima regione lunare.

Lo studio dei dati "GRAIL" ha inoltre rilevato una sorprendente somiglianza tra la disposizione rettangolare delle strutture sulla Luna e quelle che circondano la regione polare sud di Encelado, la luna ghiacciata di Saturno. Entrambe le configurazioni sembrano essere correlate ai processi vulcanici e tettonici.

Il "Lato caldo della Luna": Una differenza termica fino a 170°C fra i due emisferi lunari

Da un recente studio basato sui dati della "Missione Grail" della Nasa

2



Emisfero rivolto verso la TERRA: Circa 4 miliardi di anni fa (2A) grandi impatti e una anomalia termica provocano parziale fusione del mantello che risale in superficie dando origine ai mari lunari. Col progressivo raffreddamento del sottosuolo (2B) la zona di fusione sprofonda a 800-1200 km sotto la superficie. Croci gialle: Posizione terremoti lunari localizzati all'interno o in prossimità delle regioni parzialmente fuse del Mantello. (Crediti: Park et al. Nature).

Differenza di temperatura:



Decadimento elementi radioattivi (Uranio, Torio, Potassio) presenti nell'emisfero rivolto alla Terra quali residui di antiche eruzioni vulcaniche avvenute miliardi di anni fa.

3

Asimmetrie geofisiche lunari

Missione "Grail": Dalle anomalie gravitazionali allo studio delle dinamiche interne



Le indagini gravitazionali si basano sul principio che le variazioni della densità del sottosuolo provochino corrispondenti variazioni del campo gravitazionale locale. Materia ad alta densità, come ad esempio la ilmenite, esercita un'attrazione gravitazionale più forte rispetto ai materiali a bassa densità. Misurando queste variazioni gravitazionali, come ha fatto la missione Grail, gli scienziati possono dedurre la distribuzione di diversi tipi di rocce sotto la superficie lunare.

Secondo uno studio, la ilmenite (FeTiO_3) si sarebbe depositata in superficie in seguito alla solidificazione di un oceano globale di magma. Questa solidificazione sarebbe avvenuta sopra strati di roccia meno densi, provocando un'instabilità gravitazionale che è alla base di quello che gli addetti ai lavori chiamano "ribaltamento del mantello". Secondo questo processo, nei millenni che seguirono la formazione della Luna, il minerale denso è sprofondato nel mantello, sciogliendosi e mescolandosi al suo interno, ma è poi ritornato in superficie sotto forma di lava, dove lo troviamo oggi in forma solidificata. In questo scenario, la concentrazione del minerale sul lato visibile della Luna sarebbe avvenuta prima del ribaltamento. I modelli suggeriscono infatti che il materiale ricco di titanio nella crosta sia prima migrato verso il lato più vicino della Luna; una migrazione probabilmente innescata da un gigantesco impatto sul lato opposto, presumibilmente l'evento all'origine del "Polo Sud-Aitken", il più grande bacino da impatto presente sulla Luna. Solo successivamente il minerale è sprofondato, ritornando infine in superficie con il cosiddetto "ribaltamento".

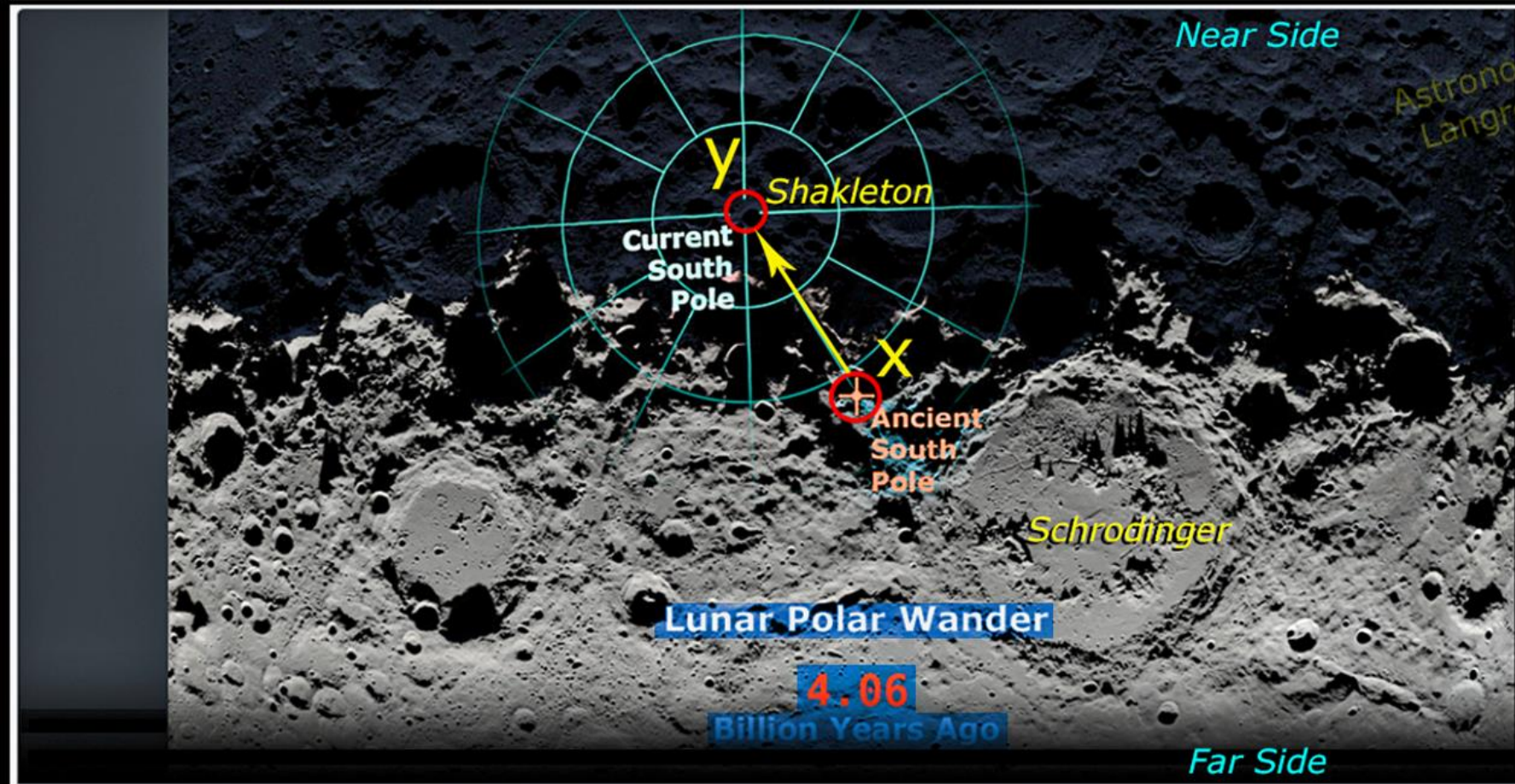
Lunar Polar Wander

Released Monday, September 19, 2022

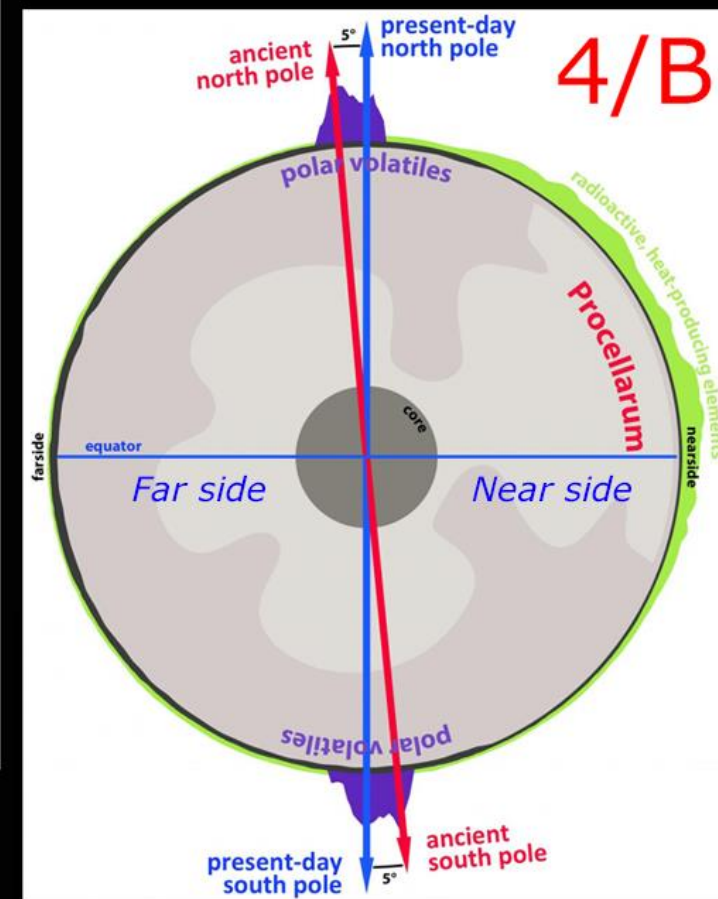
4/A

ID: 5023

Visualizations by: [Ernie Wright](#) | Written by: [Lonnie Shekhtman](#) | Scientific consulting by: [Vishnu Viswanathan](#) | [View full credits](#)



La migrazione dei Poli Nord & Sud della Luna



Schema riguardo lo spostamento dei poli della Luna

I poli Nord e Sud della Luna non sono sempre stati dove sono oggi

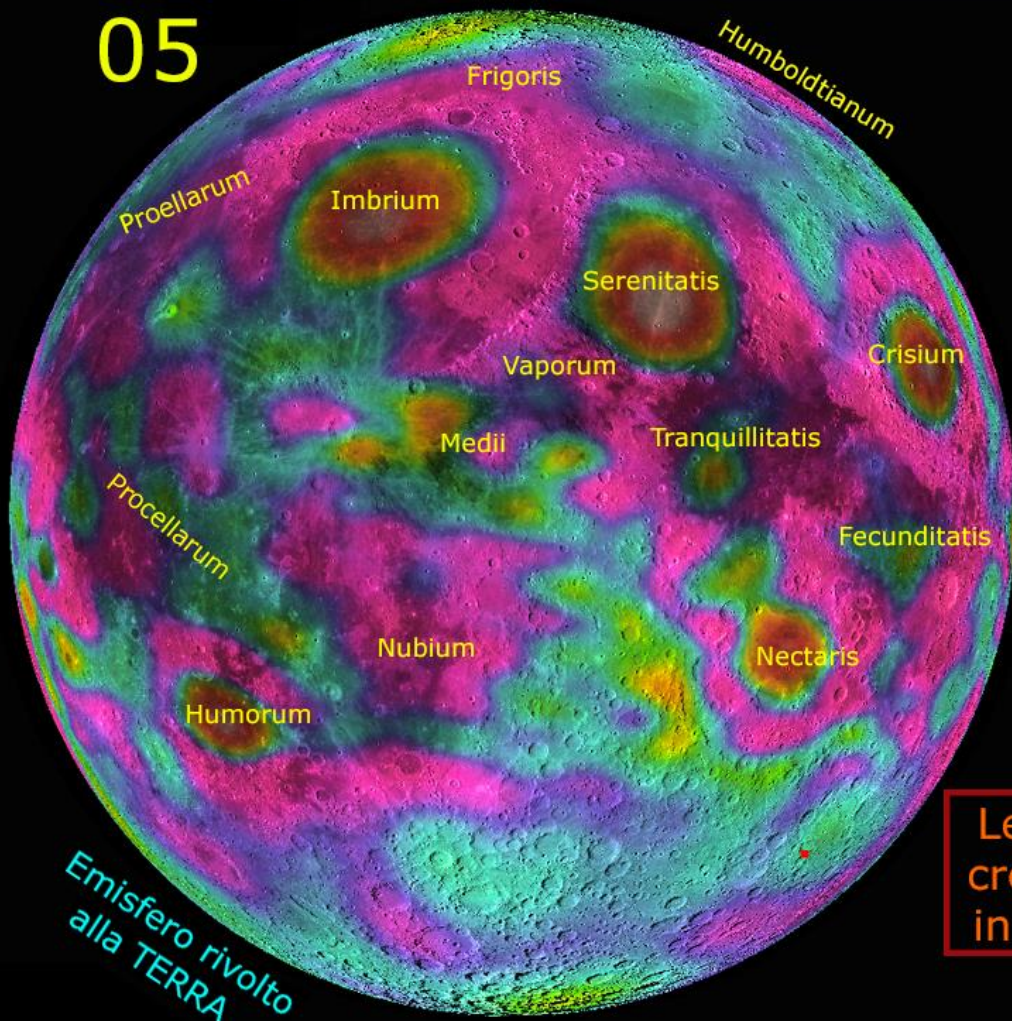
Impatti di asteroidi, sia grandi che piccoli, hanno modificato la distribuzione di massa della Luna.

Dopo ogni impatto, la Luna si è gradualmente riequilibrata attorno al proprio asse di rotazione.

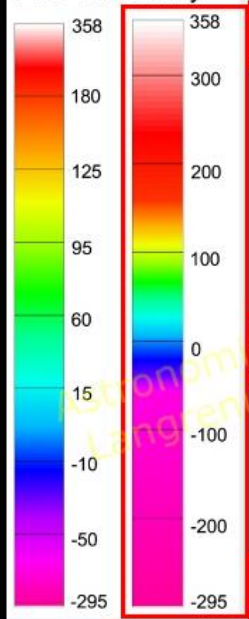
In uno studio pubblicato sul "Planetary Science Journal", David E. Smith, Vishnu Viswanathan e i loro coautori hanno scoperto che gli impatti hanno spostato i poli di quasi 10 gradi di latitudine – 300 chilometri o 190 miglia – nei circa 4,25 miliardi di anni trascorsi dal gigantesco evento che ha creato il bacino Polo Sud-Aitken.

MASCONS: Concentrazioni di massa sotto i mari

05

Emisfero rivolto
alla TERRA

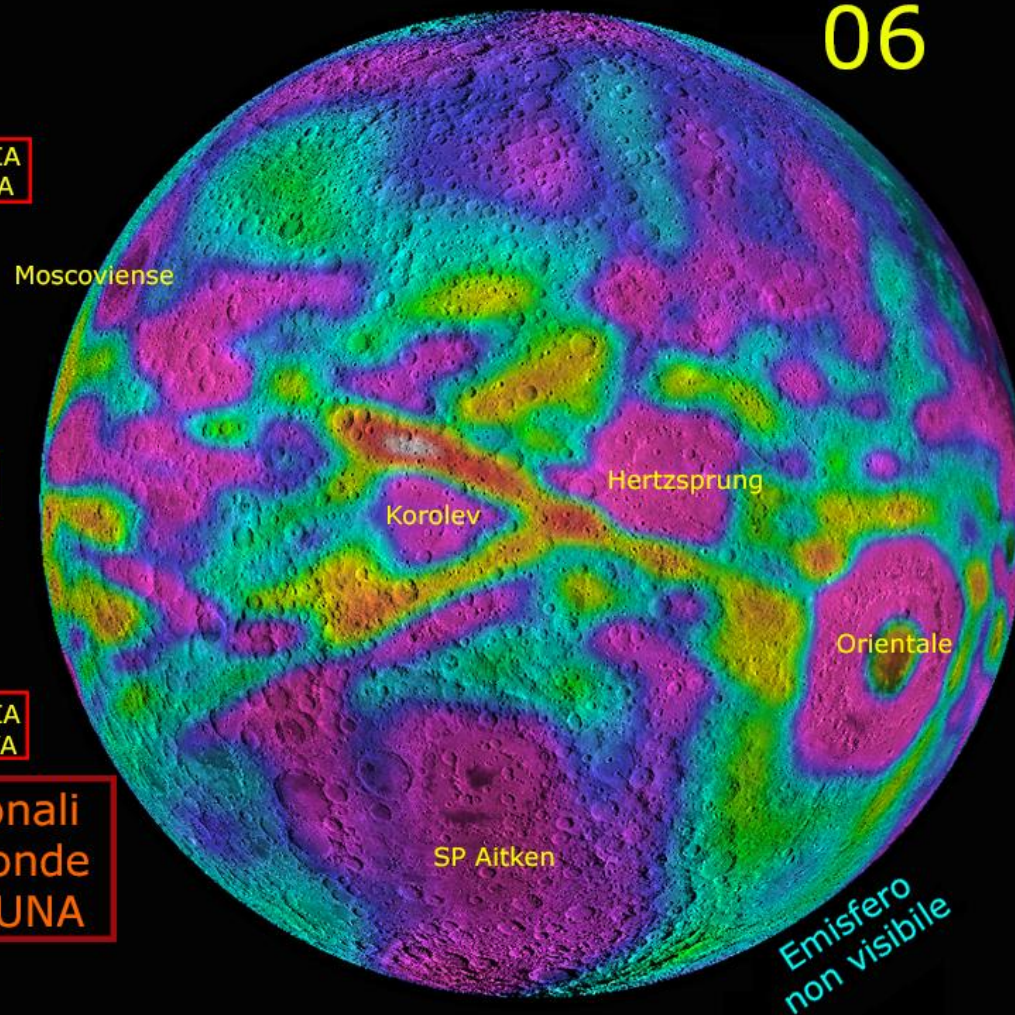
Free-air Gravity

ANOMALIA
POSITIVALIVELLO
ZEROANOMALIA
NEGATIVA

Le anomalie gravitazionali
creano problemi alle sonde
in orbita intorno alla LUNA

Sonde
Clementine & Lunar Prospector

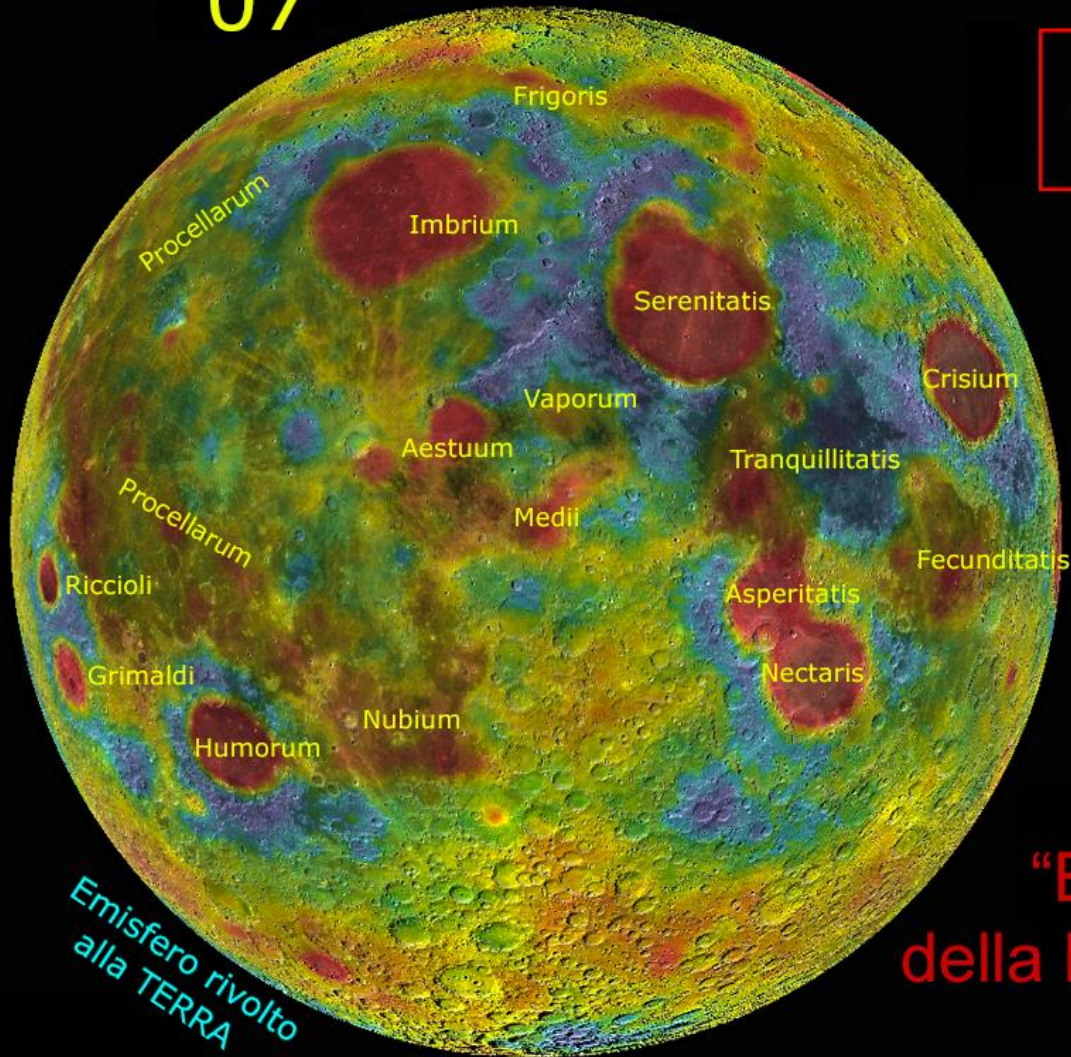
06

Emisfero
non visibile

Questa sovrapposizione è stata concepita con i dati gravimetrici registrati dalla sonda Clementine e compilati da Maria T. Zuber e dal suo team LPI. Sono stati completati con i risultati del Dr. Alan Binder e del suo team provenienti dalla sonda Lunar Prospector. La sovrapposizione consente di visualizzare le anomalie gravitazionali sotto le formazioni. L'unità di misura è il milligal. Le anomalie più grandi si trovano sotto i mari, mostrando la famosa presenza di "mascon". Questi dati sono corretti con il metodo "aria libera" tenendo conto dell'altitudine rispetto al sito di misurazione.

Anomalie gravitazionali nei due emisferi lunari

07

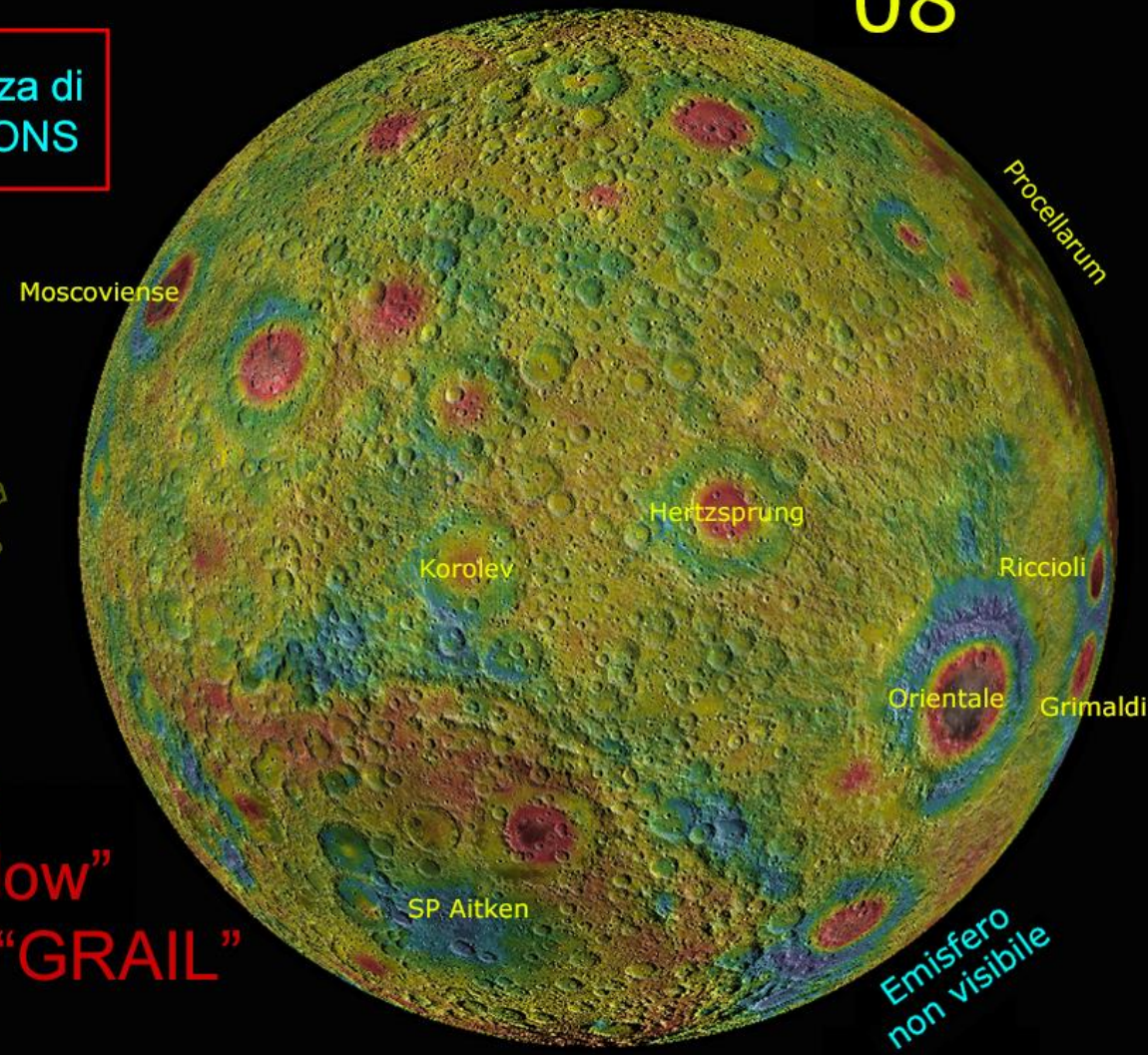


Emisfero rivolto
alla TERRA



Presenza di
MASCONS

08



Emisfero
non visibile

Astronomica
Langrenus

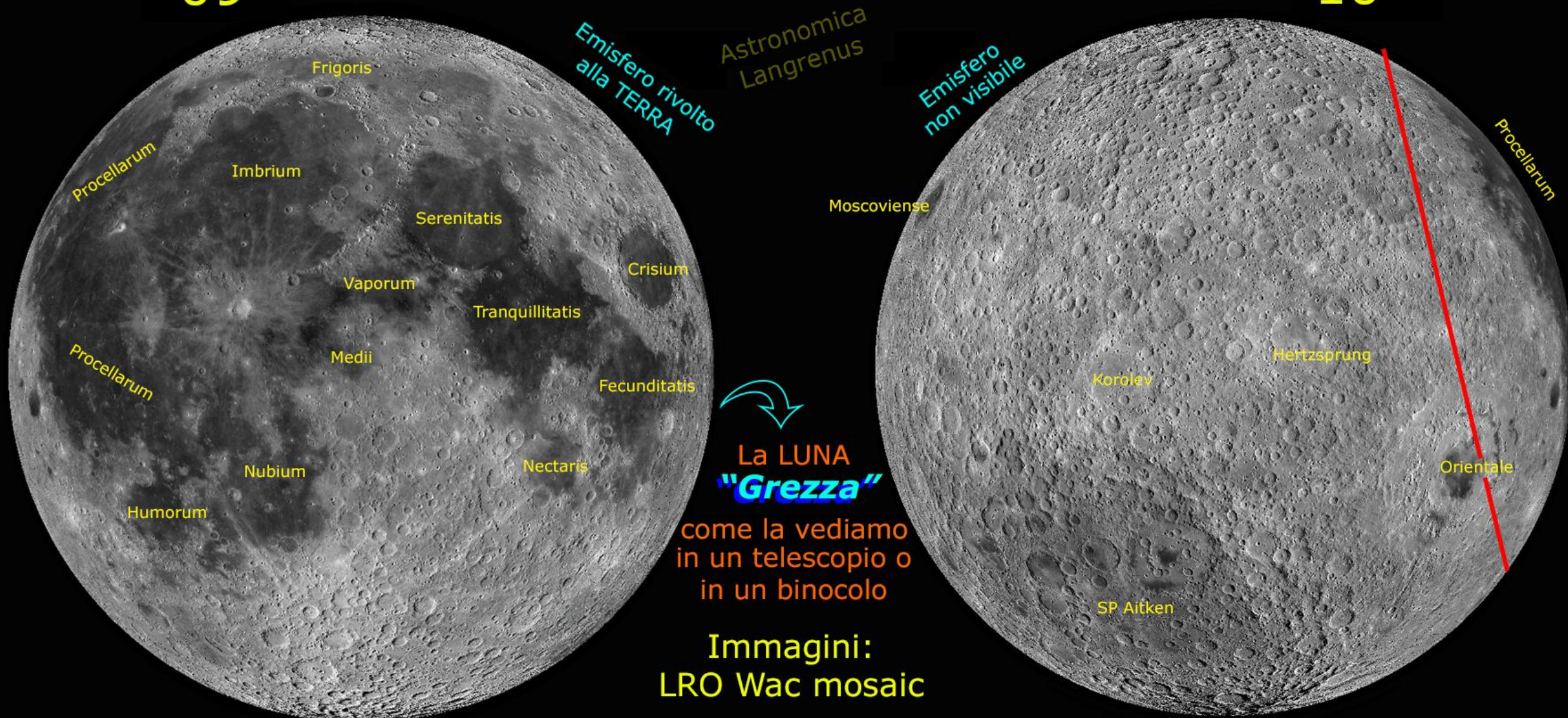
Sonde
“Ebb” & “Flow”
della Missione “GRAIL”

Sovrapposizione prodotta a partire dai dati gravimetrici registrati dalle due sonde GRAIL Ebb & Flow e compilati dalla Dott.ssa Maria T. Zuber e dal suo team dell'USGS. È espressa in milligal. Permette di visualizzare le anomalie gravitazionali nell'area delle formazioni. Ci rendiamo così conto che forti anomalie corrispondono ai mari e rivelano la presenza dei famosi "mascon". Questi dati sono corretti secondo il metodo "aria libera", che tiene conto dell'altitudine delle formazioni.

09

Albedo superficie lunare nei due emisferi

10

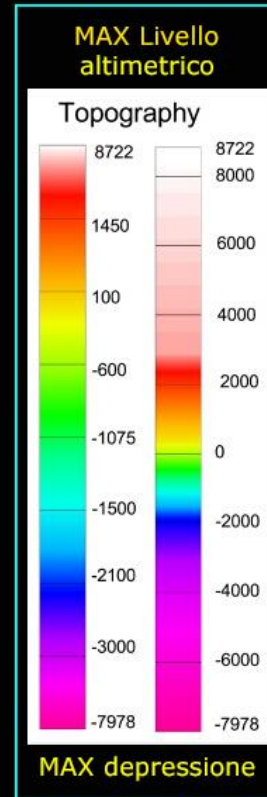
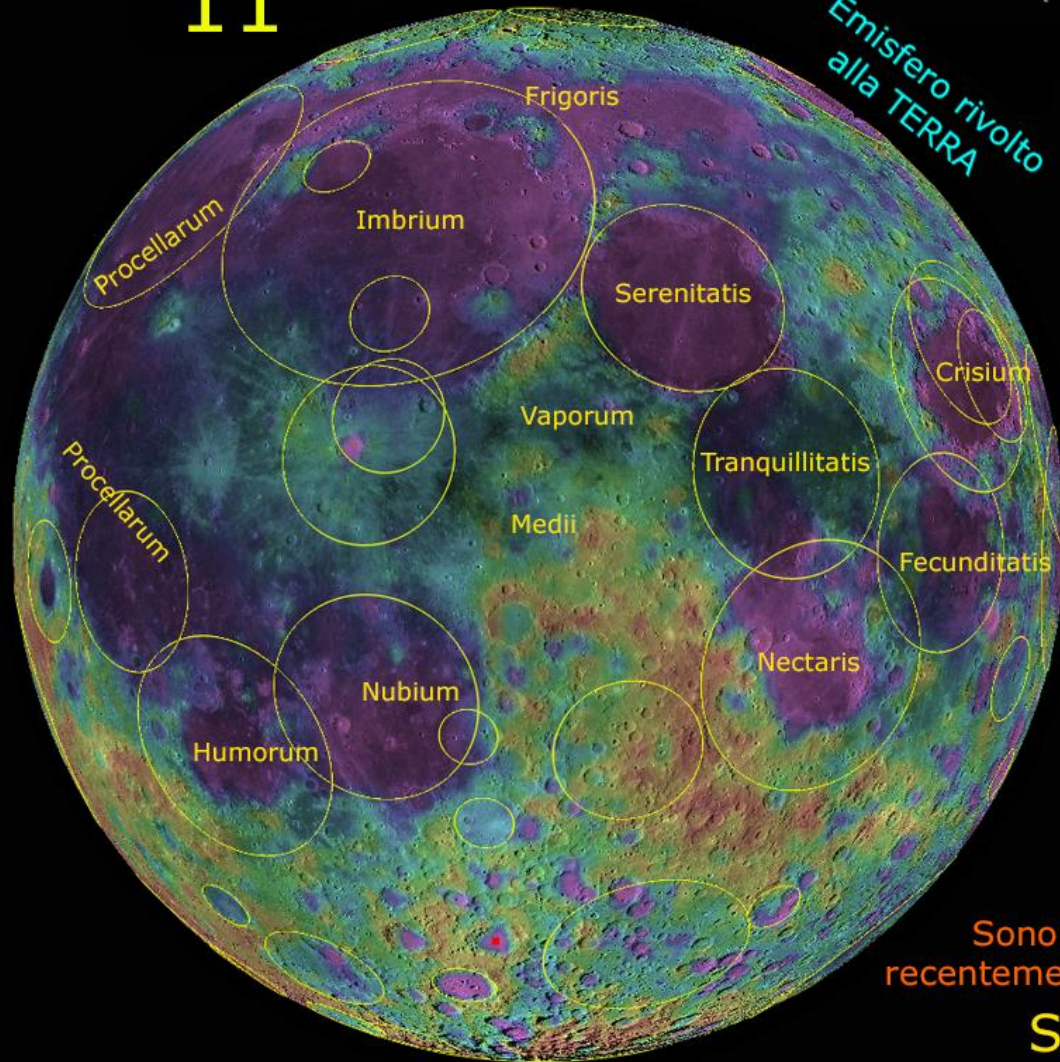


Questa sovrapposizione mostra l'albedo della superficie lunare. È estratta dai dati Clementine.

Topografia e individuazione di bacini da impatto

(By Hartmann & Kuiper)

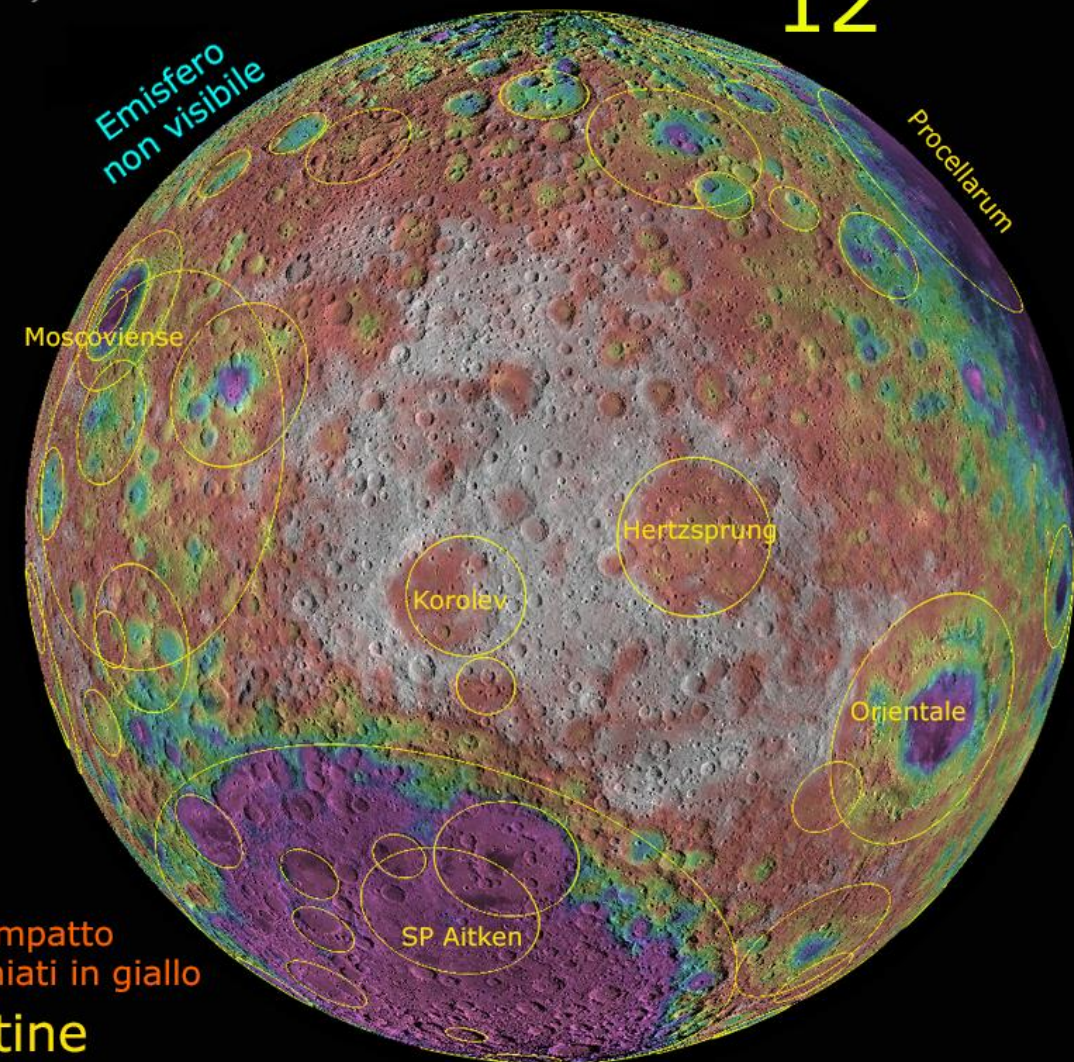
11



Sono indicati i bacini da impatto recentemente individuati cerchiati in giallo

Sonda Clementine

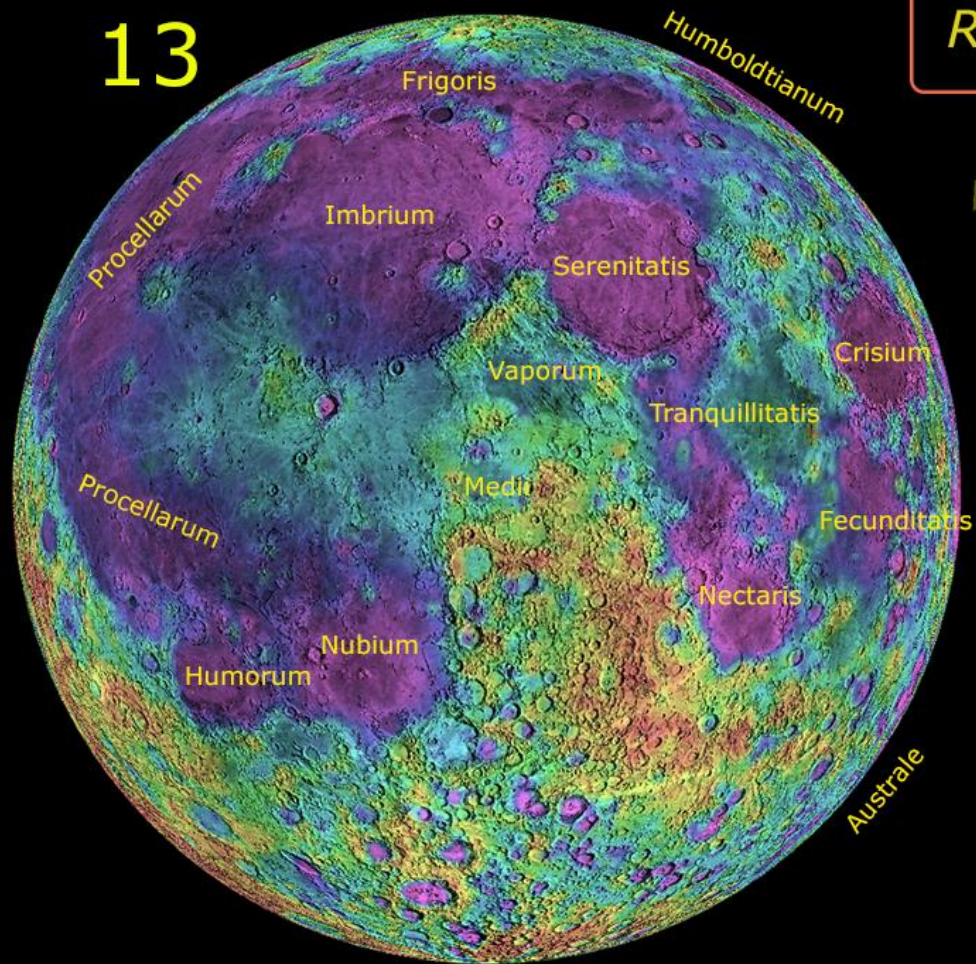
12



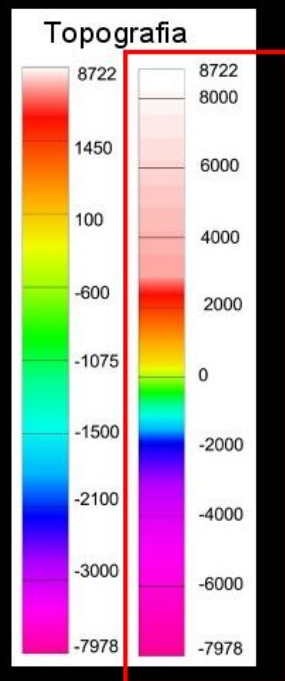
LEGENDA: La colonna di sinistra si basa su una scala lineare per gli spettri di colore, mentre quella di destra si basa su una scala lineare per le altitudini.

Annotazione: Le zone cerchiati in giallo indicano la presenza dei numerosi bacini da impatto recentemente individuati da gruppi di ricercatori, in gran parte preesistenti rispetto a quelli oggi noti. La presenza di questi bacini da impatto riguarda entrambi gli emisferi ma in maggiore numero sull'emisfero rivolto al nostro pianeta.

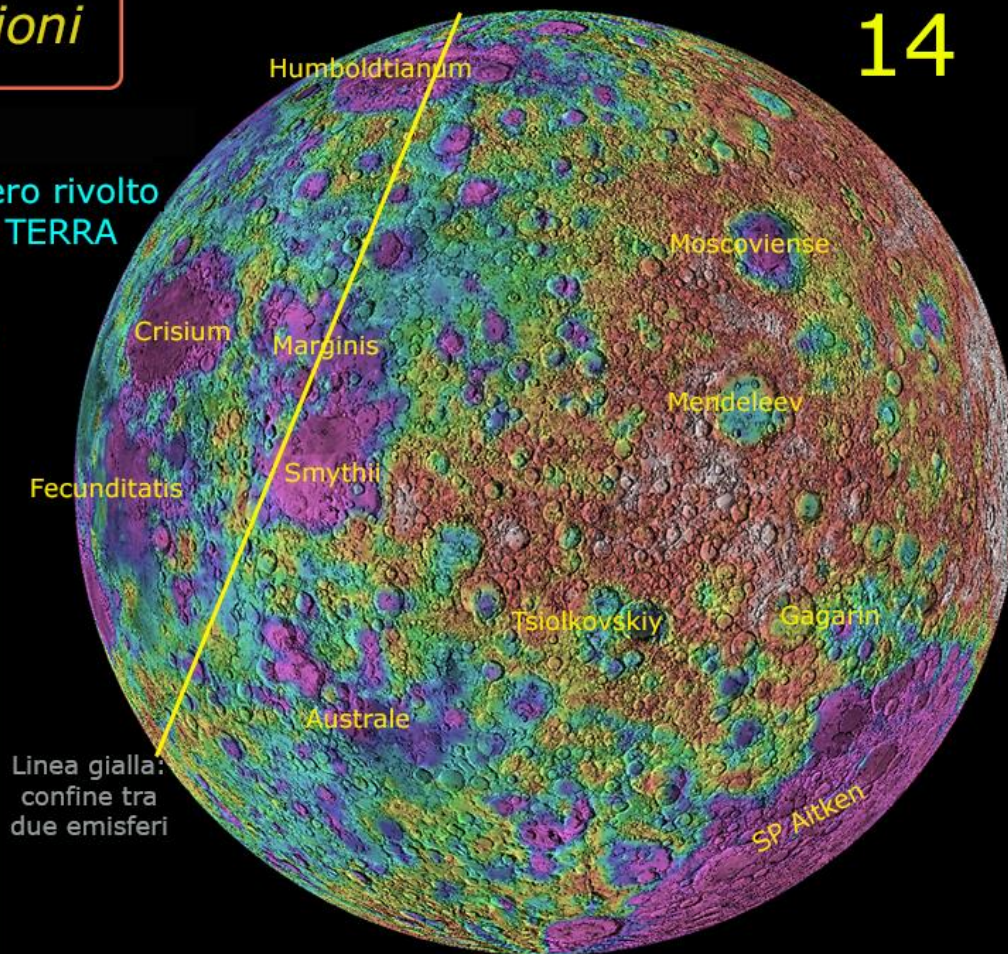
13

Emisfero rivolto
alla TERRA

Rilievi e depressioni

Astronomica
LangrenusEmisfero rivolto
alla TERRA

14

Linea gialla:
confine tra
due emisferi

Emisfero non visibile

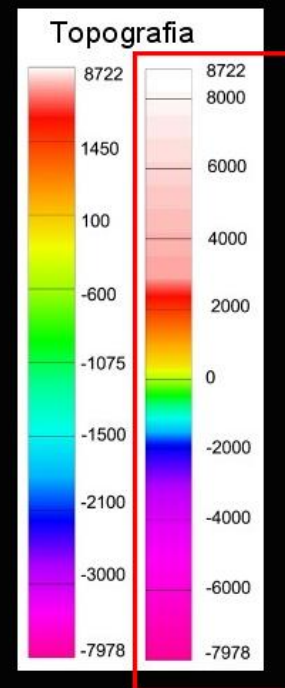
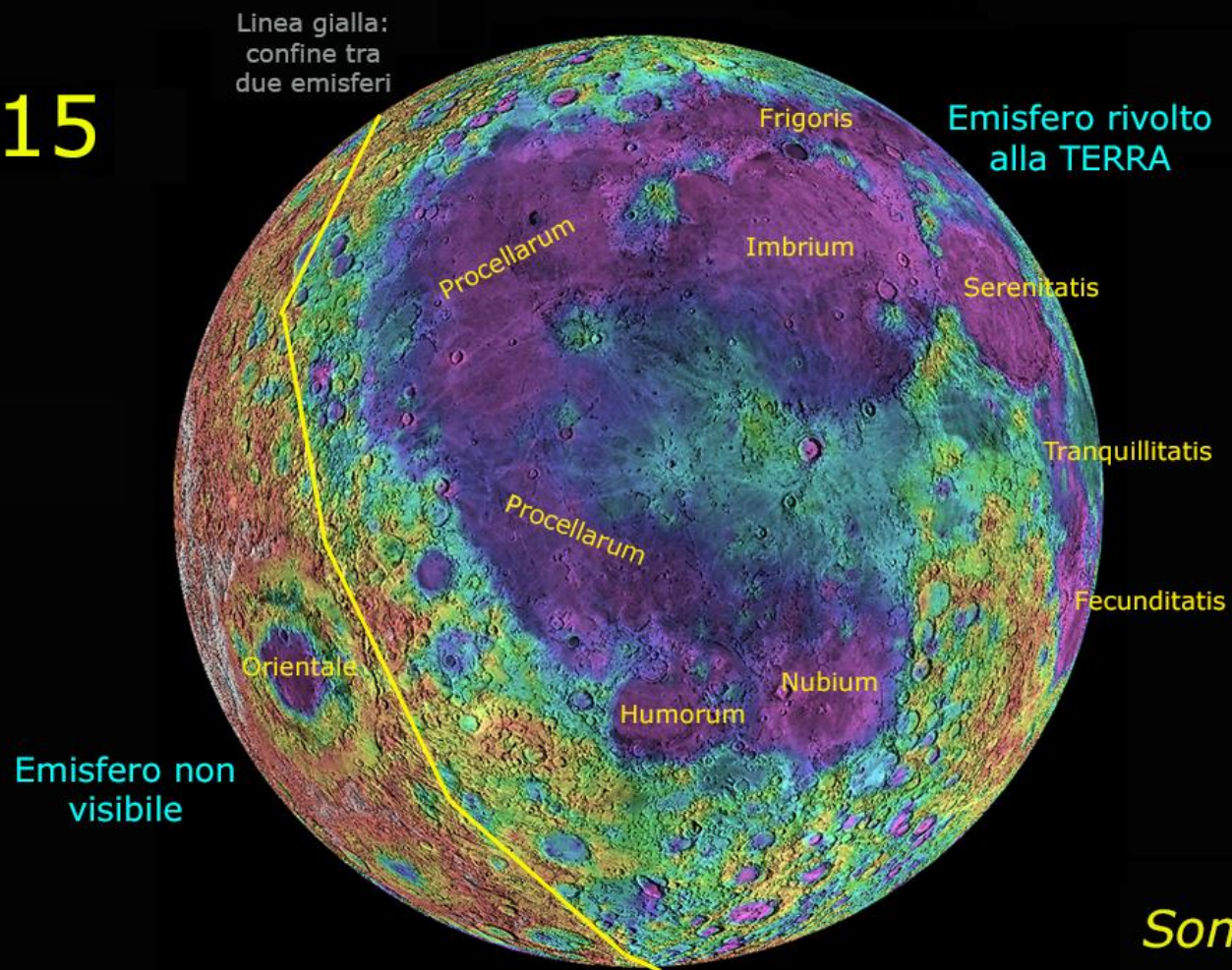
Sonda Clementine

Questa sovrapposizione è stata concepita con i dati altimetrici registrati dalla sonda Clementine e compilati da Maria T. Zuber e dal suo team LPI. La sovrapposizione consente di individuare le altitudini relative.

Per quanto riguarda la rispettiva legenda, i valori sono espressi in piedi ($1 \text{ piede} = 0,3048 \text{ Km}$). La colonna di sinistra è basata su una scala lineare dei colori spettrali, mentre quella di destra è basata su una scala lineare delle altitudini.

Rilievi e depressioni

15



Massima altezza
dei rilievi

Livello "Zero"

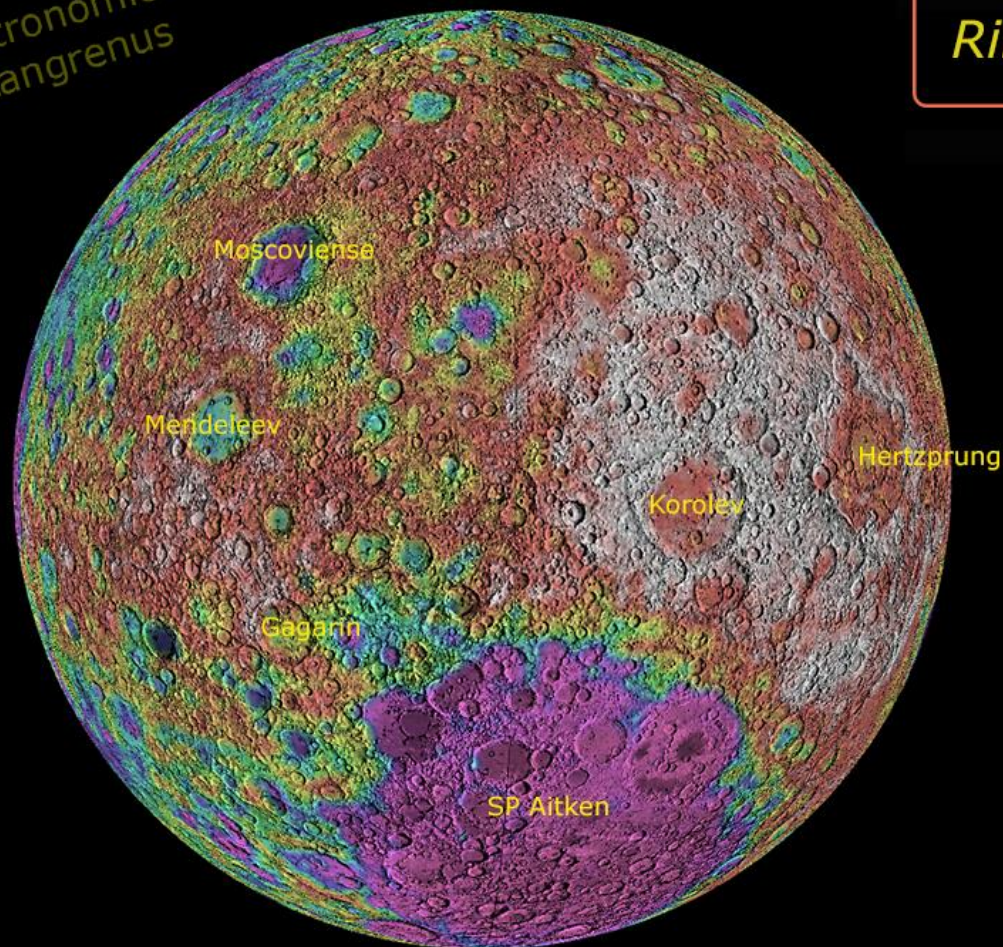
Massima depressione

Sonda Clementine

Questa sovrapposizione è stata concepita con i dati altimetrici registrati dalla sonda Clementine e compilati da Maria T. Zuber e dal suo team LPI. La sovrapposizione consente di individuare le altitudini relative.

Per quanto riguarda la rispettiva legenda, i valori sono espressi in piedi (1 piede = 0,3048 Km). La colonna di sinistra è basata su una scala lineare dei colori spettrali, mentre quella di destra è basata su una scala lineare delle altitudini.

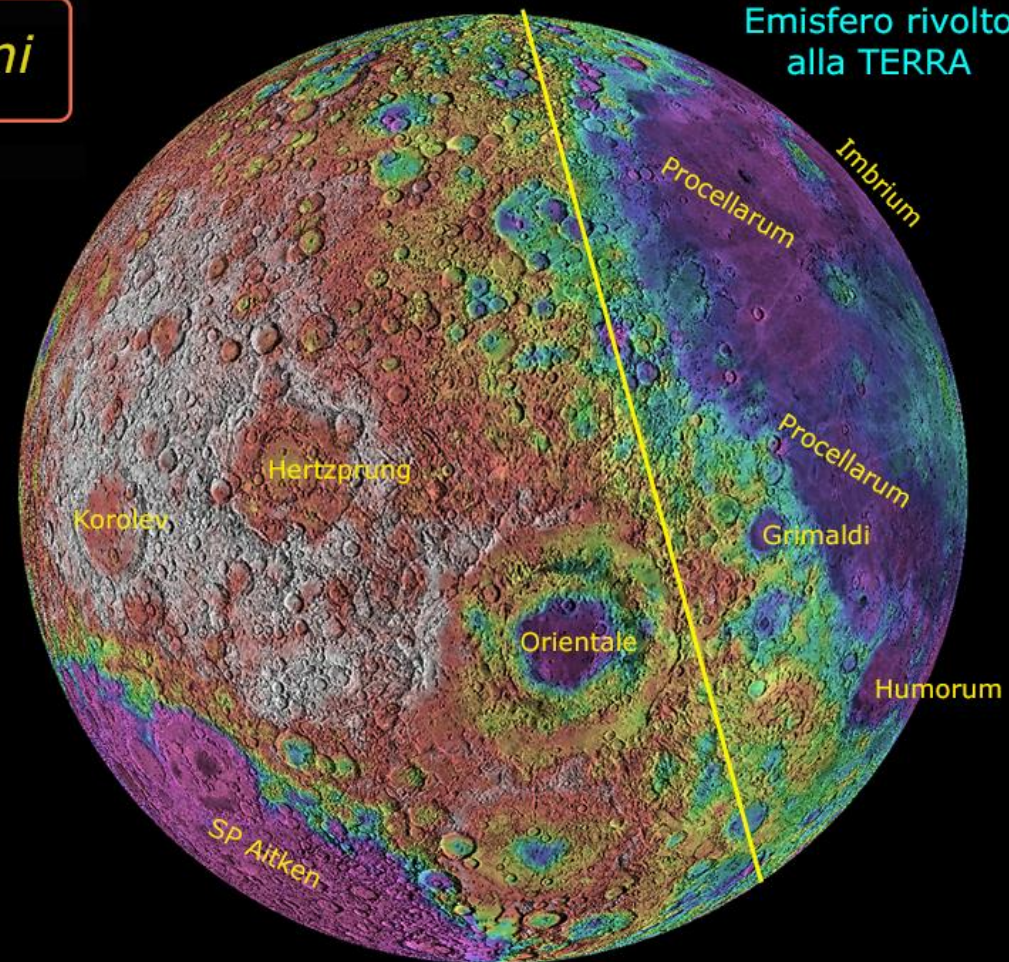
Rilievi e depressioni



Emisfero non visibile

16

Sonda Clementine



Emisfero non visibile

17

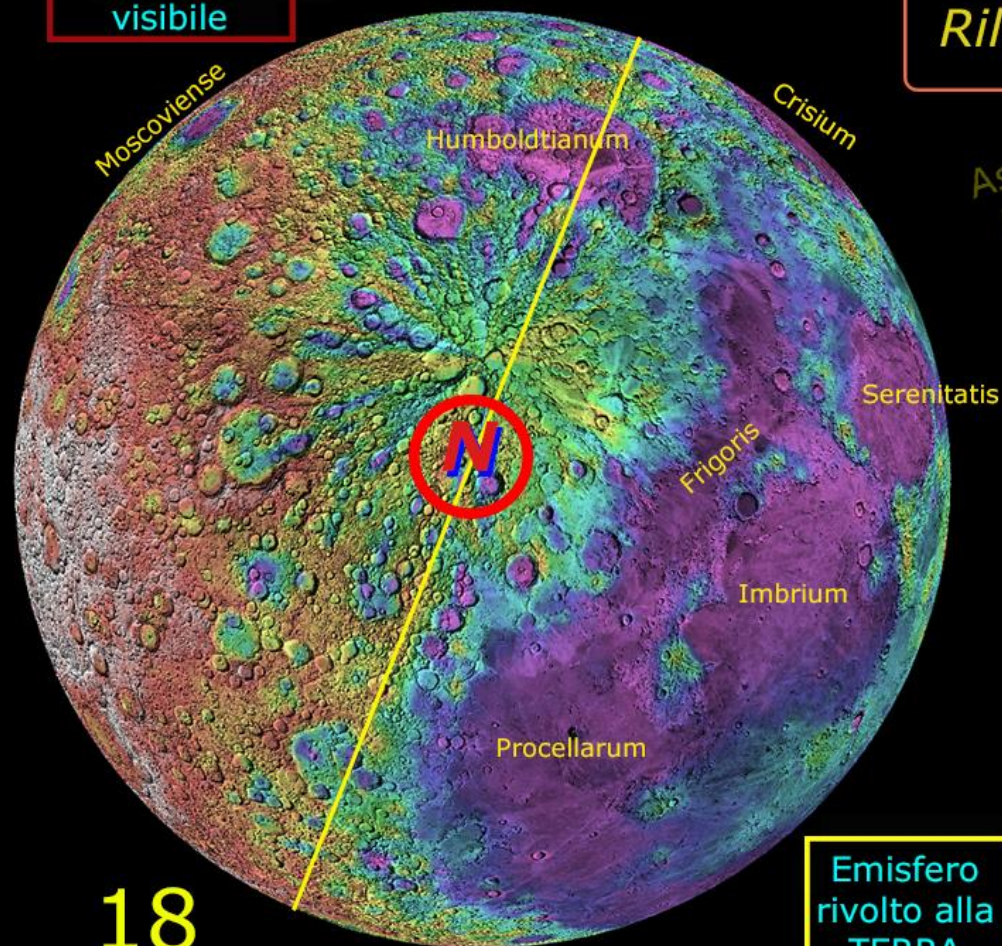
Questa sovrapposizione è stata concepita con i dati altimetrici registrati dalla sonda Clementine e compilati da Maria T. Zuber e dal suo team LPI. La sovrapposizione consente di individuare le altitudini relative.

Per quanto riguarda la rispettiva legenda, i valori sono espressi in piedi (1 piede = 0,3048 Km). La colonna di sinistra è basata su una scala lineare dei colori spettrali, mentre quella di destra è basata su una scala lineare delle altitudini.

Emisfero non visibile

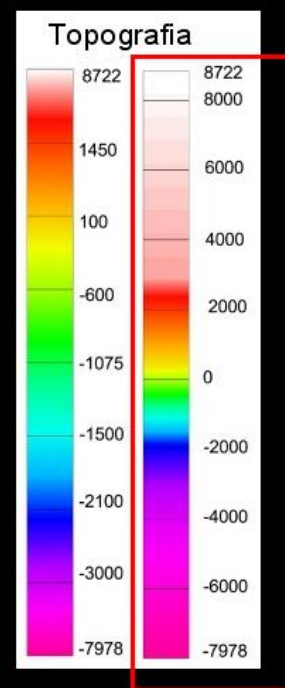
Rilievi e depressioni

Emisfero non visibile



Sulla verticale del
Polo NORD

Emisfero
rivolto alla
TERRA



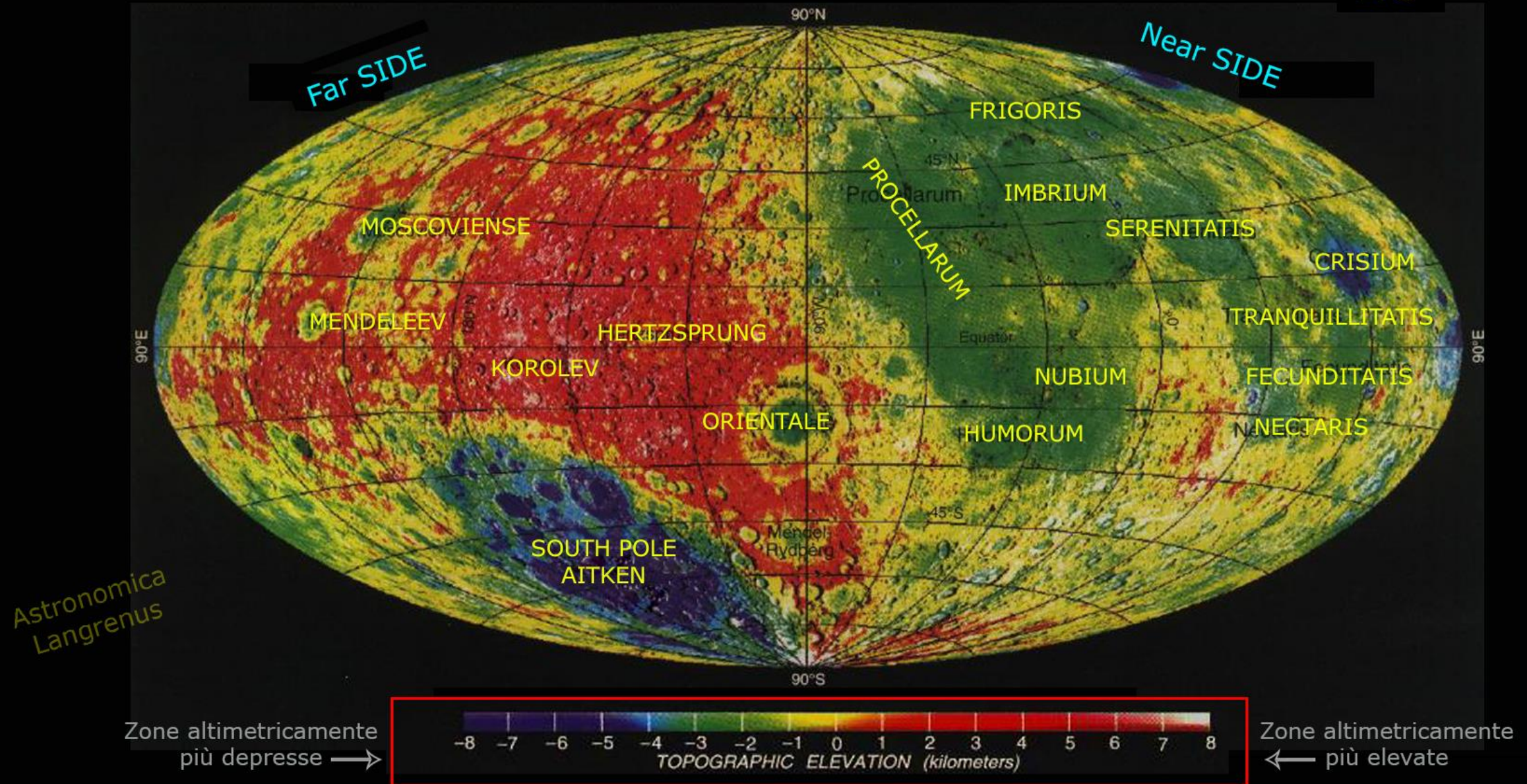
Sulla verticale del
Polo SUD

Emisfero
rivolto alla
TERRA

Sonda Clementine

Questa sovrapposizione è stata concepita con i dati altimetrici registrati dalla sonda Clementine e compilati da Maria T. Zuber e dal suo team LPI. La sovrapposizione consente di individuare le altitudini relative.

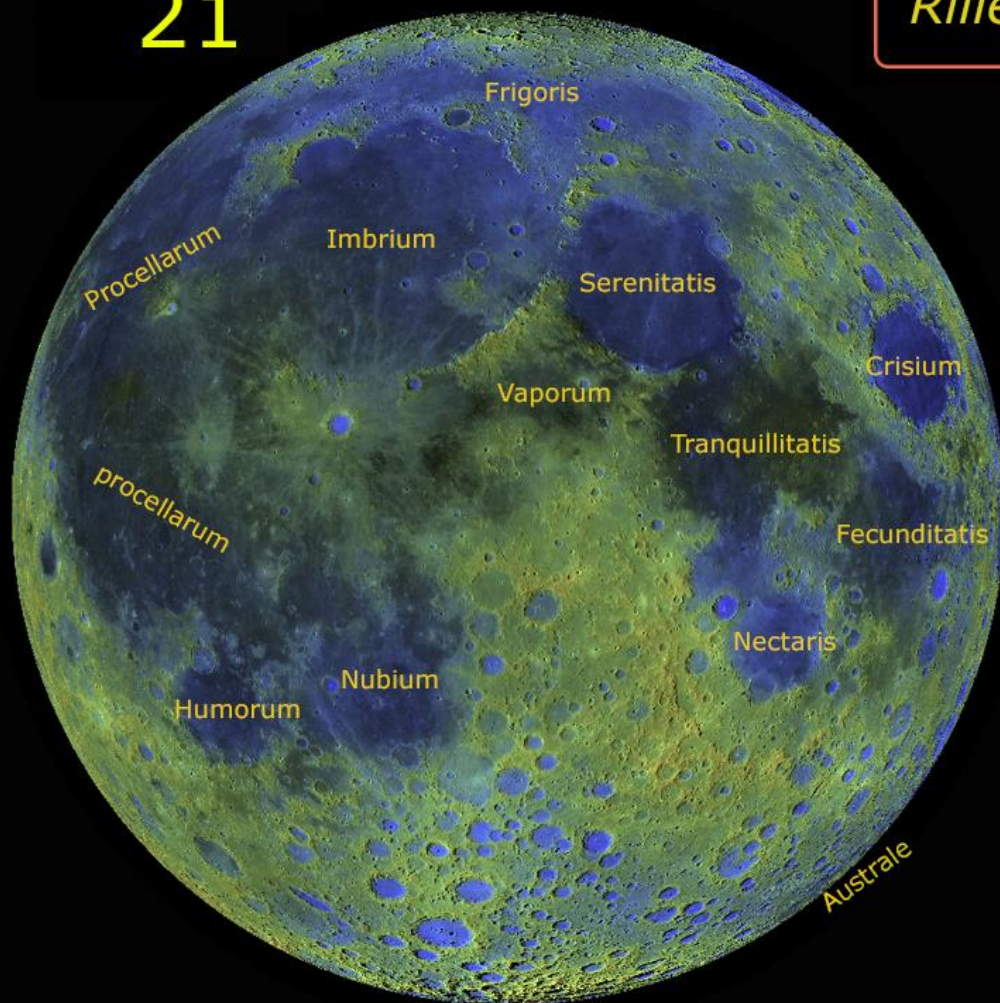
Per quanto riguarda la rispettiva legenda, i valori sono espressi in piedi (1 piede = 0,3048 Km). La colonna di sinistra è basata su una scala lineare dei colori spettrali, mentre quella di destra è basata su una scala lineare delle altitudini.



21

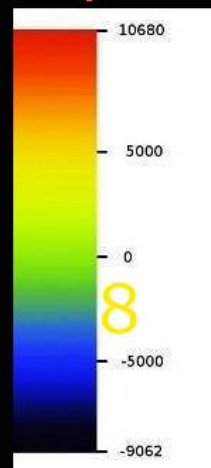
Rilievi e depressioni

22

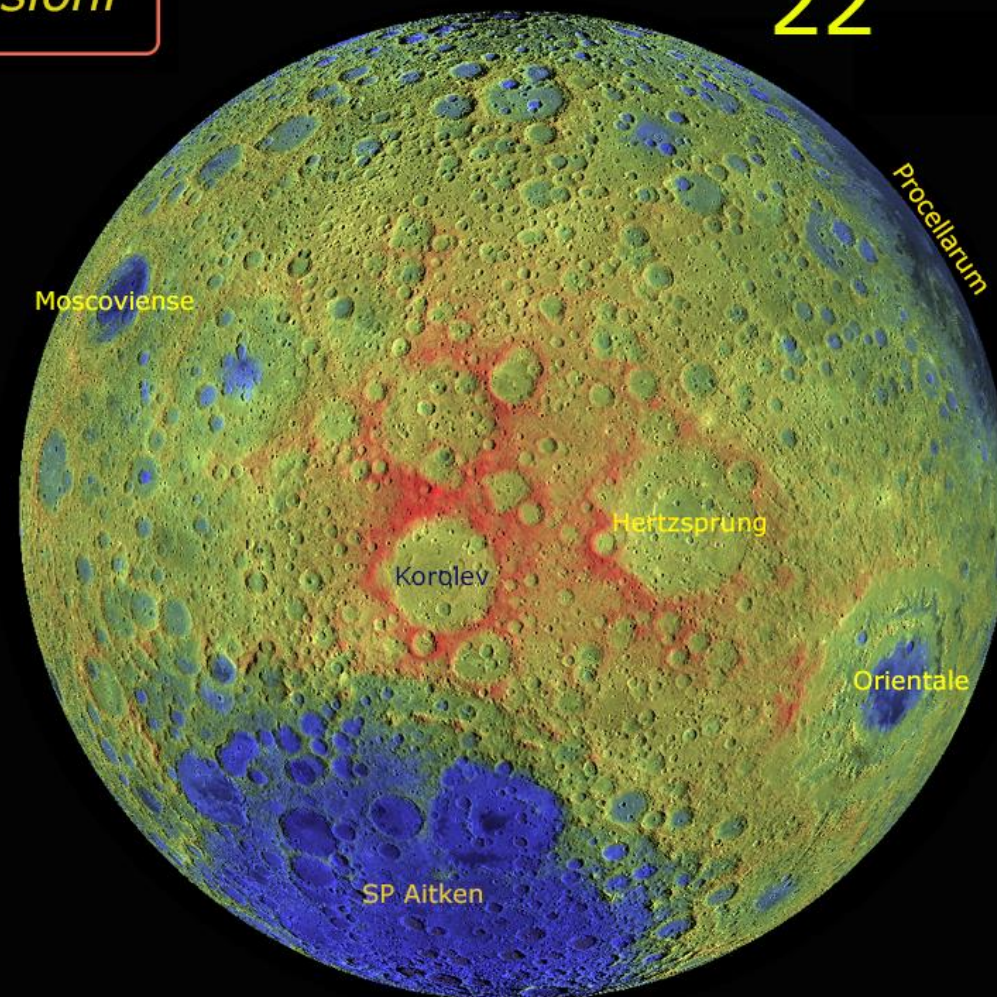


Emisfero rivolto alla TERRA

Massima
altezza
rilievi



Massima
depressione



Emisfero non visibile

Sonda Kaguya

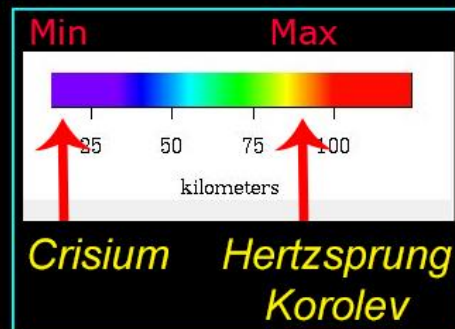
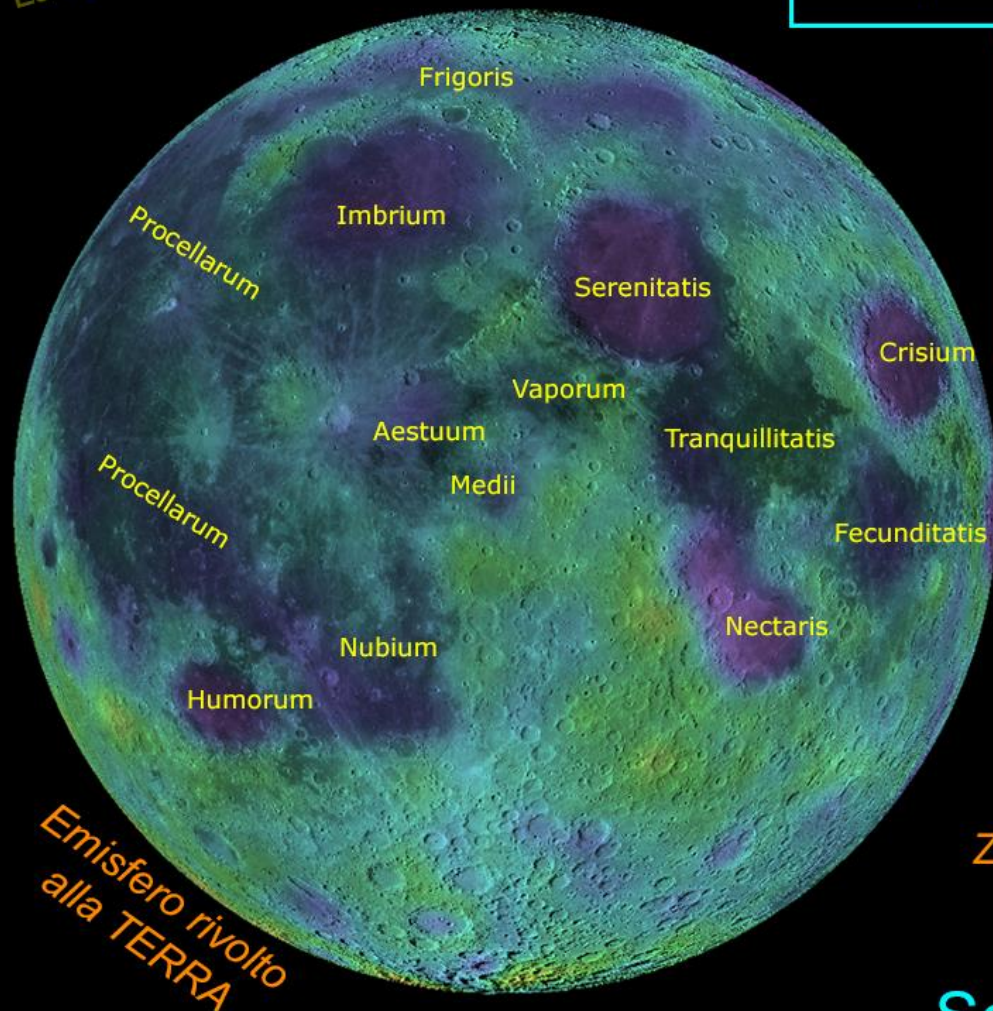
*Astronomica
Langrenus*

Questa sovrapposizione è una seconda realizzata con dati altimetrici registrati dalla sonda giapponese Kaguya e pubblicata online dal team JAXA. Fornisce le altitudini relative delle formazioni. È attualmente il planisfero altimetrico lunare più preciso.

23

Spessore crosta lunare

24

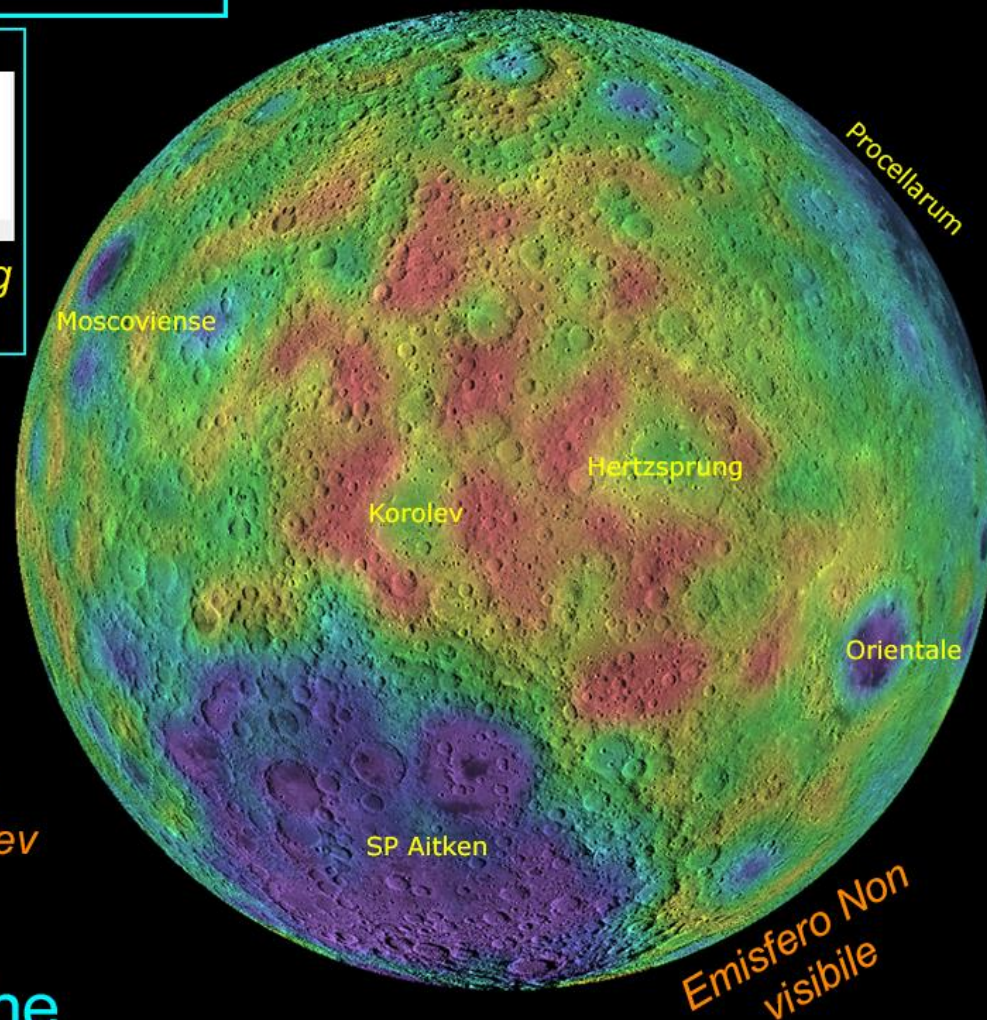


Spessore **MINIMO**:
Mare Crisium
circa 1 km

Spessore **MEDIO**:
circa 35/45 km

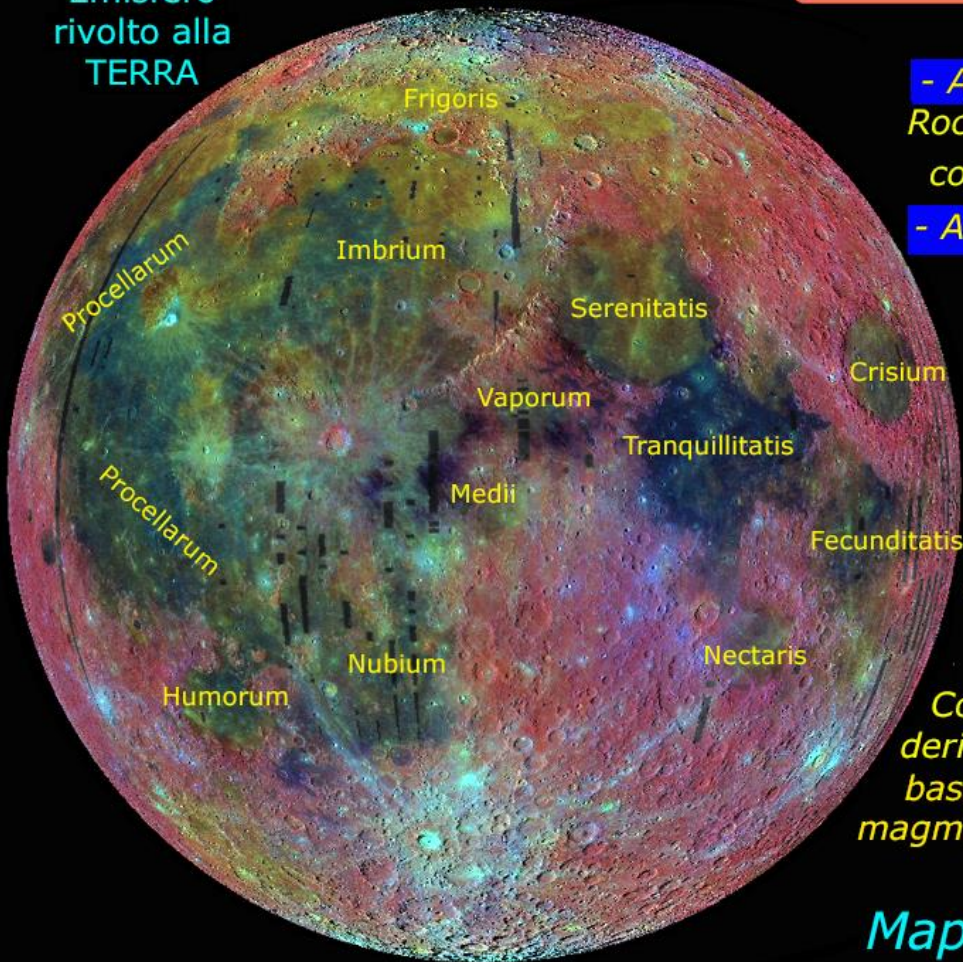
Spessore **MASSIMO**:
Zona Hertzprung-Korolev
circa 80-90 km

Sonda Clementine



Questa sovrapposizione è stata concepita con i dati sulle variazioni orbitali registrati dalla sonda Clementine e compilati da Maria T. Zuber e dal suo team LPI. La sovrapposizione permette di visualizzare lo spessore della crosta lunare sotto le formazioni. Si conferma che questo è il più basso sotto i mari e il più spesso sul lato nascosto della Luna.

25

Emisfero
rivolto alla
TERRA

Composizione superficie lunare

- Altopiani più antichi - Colore Rosso:
Rocce Gabbriche e chiare Anortositiche
con Plagioclasio, Pirosseno, Olivina.

- Altopiani meno antichi - Colore Blu
Rocce: Breccie lunari

MARI lunari

- Colore Giallo/Arancio:
+ Ferro e - Titanio

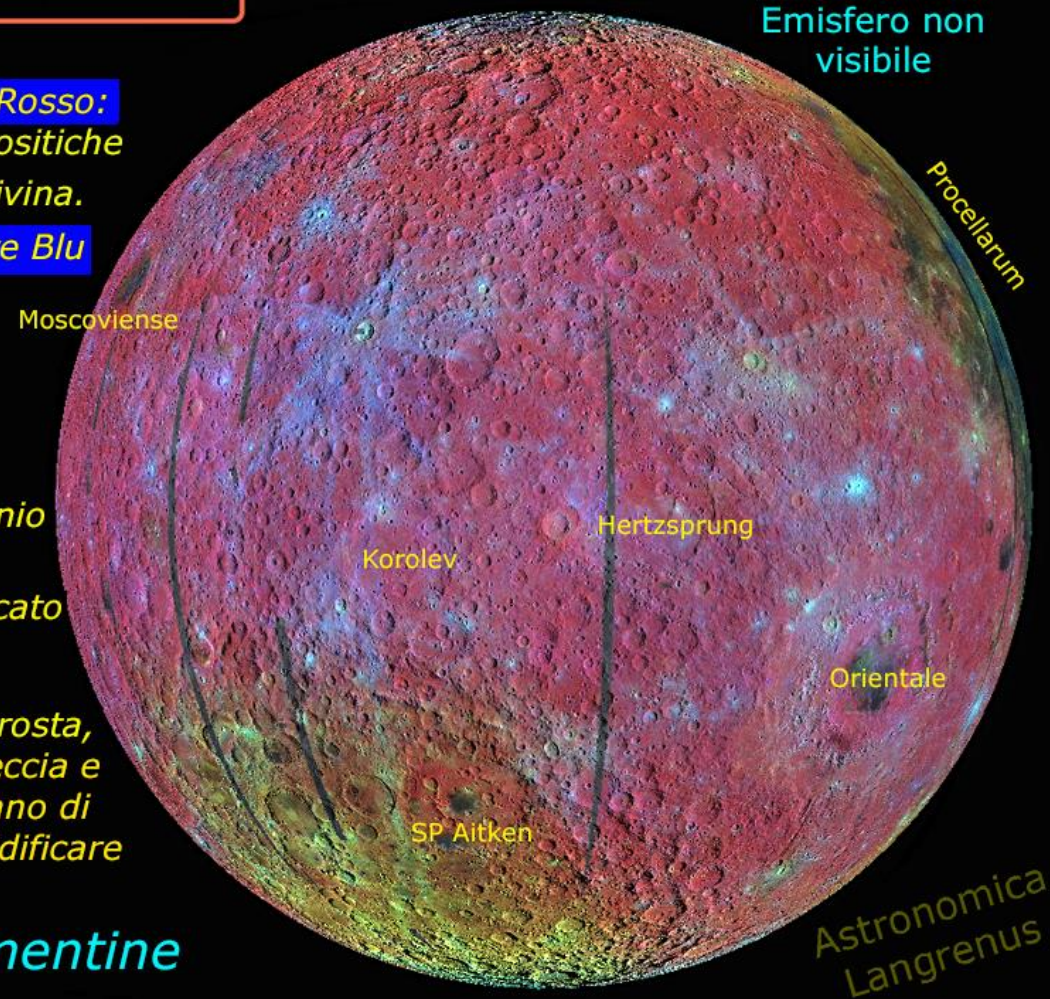
- Colore Blu: + Ferro + Titanio
Scuri rocce basaltiche
da magma vulcanico solidificato

KREEP:

Costituente importante della crosta,
deriva da impatti su rocce di breccia e
basalto. Residuo dall'antico oceano di
magma, ultimo tipo di roccia a solidificare

Mappe dati Sonda Clementine

26

Emisfero non
visibile

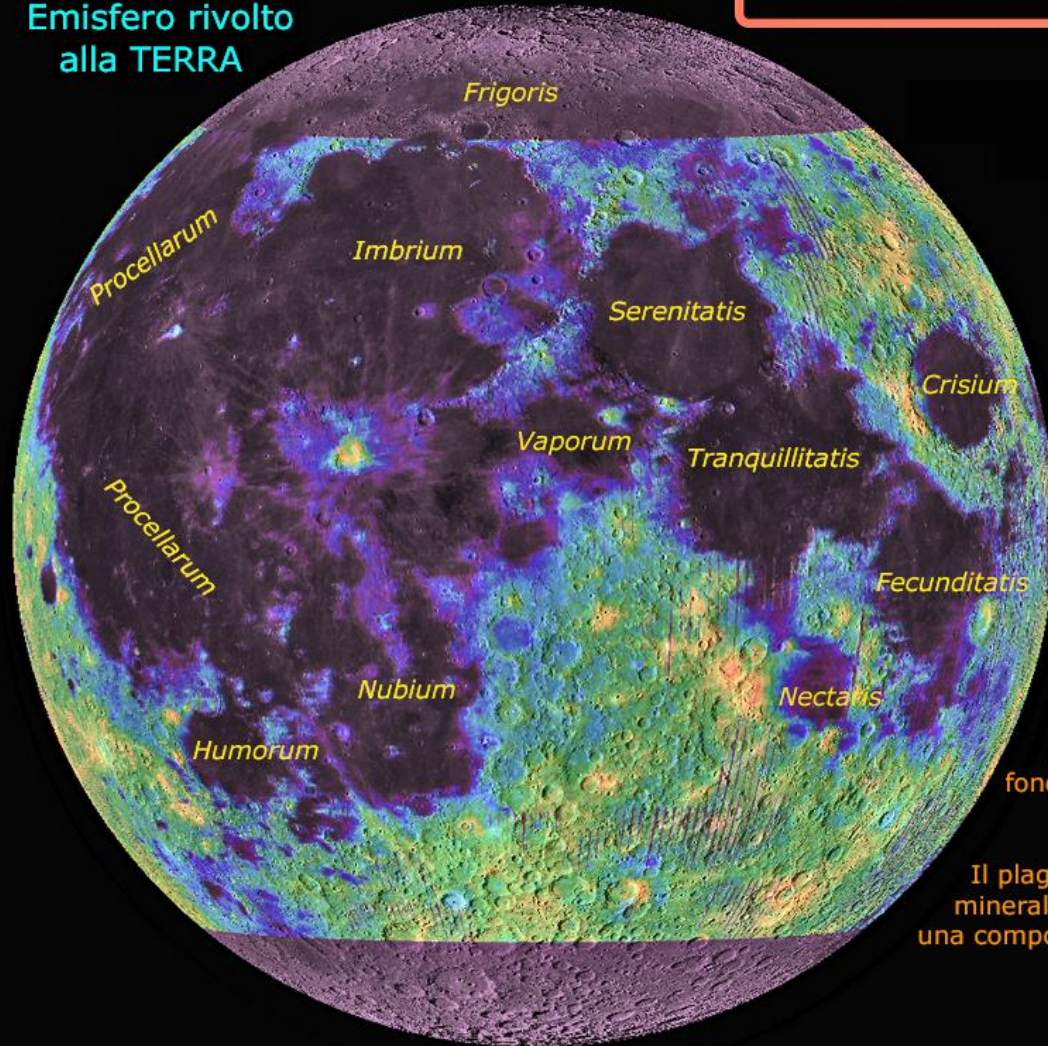
Questa sovrapposizione è stata ottenuta dalle mappe Clementine del sito "PDS Map A Planet". Le variazioni di colore indicano variazioni nella composizione della superficie lunare.

Gli altopiani lunari, per lo più rocce gabbriche di anortosite di età compresa tra ~4,5 miliardi di anni, sono rappresentati in tonalità di rosso (vecchio) e blu (più giovane). I mari lunari (da circa 3,9 a circa 1 miliardo di anni), per lo più materiali basaltici ricchi di ferro con contenuti variabili di titanio, sono rappresentati in tonalità di giallo/arancio (ricchi di ferro, basso contenuto di titanio) e blu (ricchi di ferro, alto contenuto di titanio). Sovrapposti e mescolati a queste unità di base si trovano materiali provenienti da bacini e crateri di varie età, che vanno dai rossi e blu scuri dei bacini antichi ai raggi craterici blu brillante dei crateri più giovani.

(Riferimento: Pieters, CM, MI Staid, EM Fischer, S. Tompkins e G. He, 1994, A sharper view of impact craters from Clementine data, Science, 266, 1844-1848)

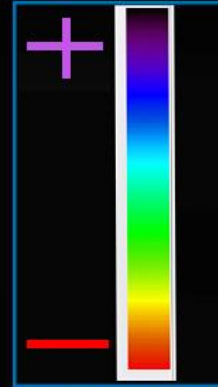
Abbondanza di Plagioclasio

Emisfero rivolto
alla TERRA



27

Elevata concentrazione
PLAGIOCLASIO



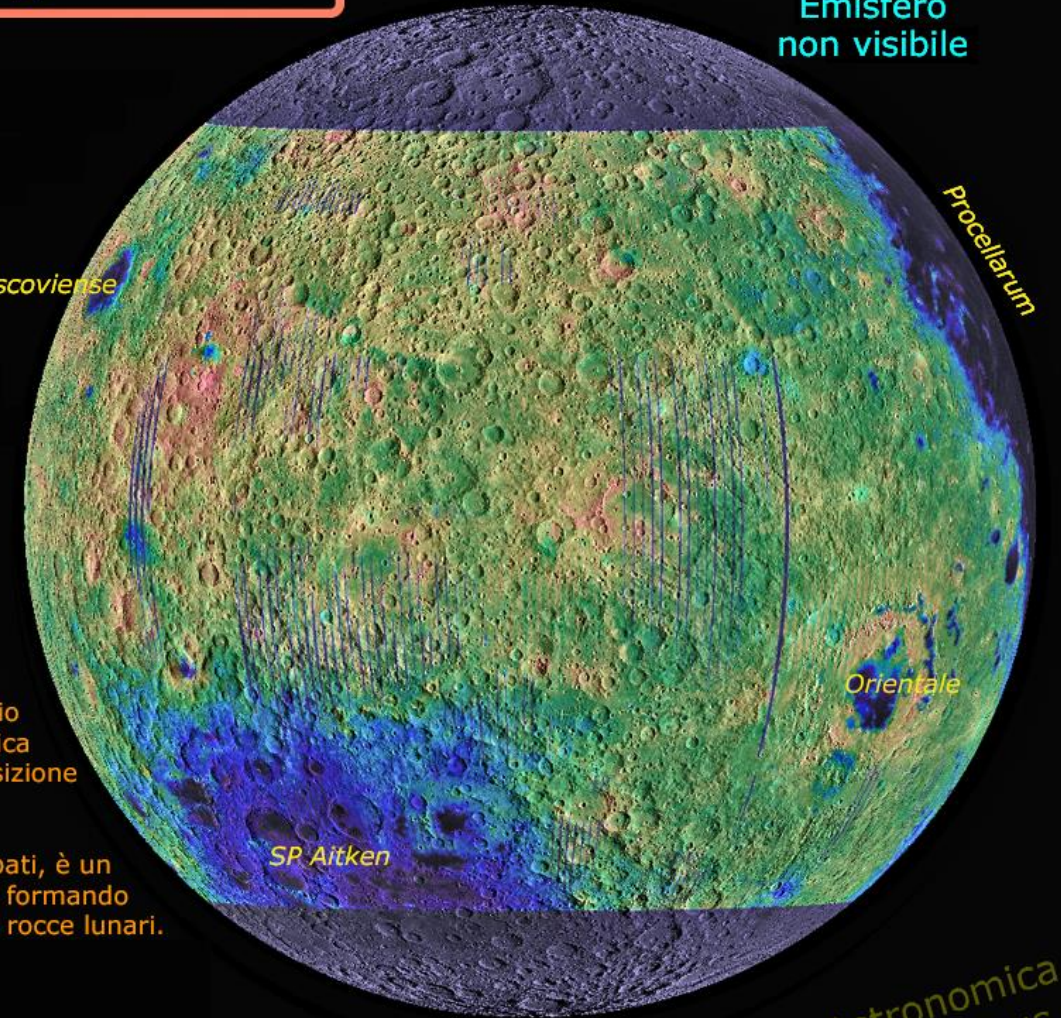
Minore concentrazione
PLAGIOCLASIO

L'abbondanza di plagioclasio
sulla Luna è una caratteristica
fondamentale della sua composizione
geologica.

Il plagioclasio, un gruppo di feldspati, è un
minerale molto comune sulla Luna, formando
una componente significativa di molte rocce lunari.

Sonda Kaguya

Emisfero
non visibile



28

Astronomica
Langrenus

Il plagioclasio è un minerale feldspatico, molto comune nei mari lunari e nelle rocce lunari in generale. La sua presenza è dovuta al processo di raffreddamento e cristallizzazione della lava basaltica che ha riempito i grandi crateri, formando i mari. Il plagioclasio è molto comune sulla Luna, in particolare negli strati superiori ricchi di plagioclasio che si sono solidificati dopo la formazione della Luna. Questi strati sono costituiti principalmente da anortosite, un tipo di roccia ignea che contiene un'elevata quantità di plagioclasio.

29

Silicati lunari - LRO

30

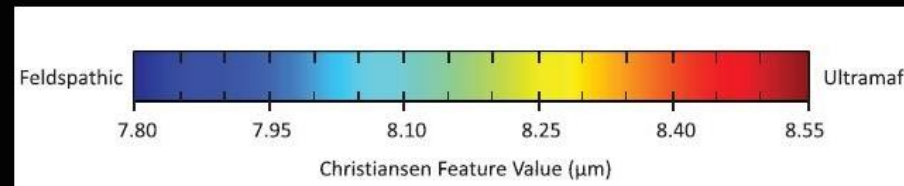
I silicati sono una componente fondamentale delle rocce lunari superficiali, in particolare nella crosta lunare. La crosta, composta principalmente di rocce di origine effusiva, contiene silicati di alluminio, calcio, ferro e magnesio, oltre a ossidi.

Le rocce lunari feldspatiche sono una componente comune degli altopiani e si trovano anche in alcuni meteoriti lunari. Queste rocce sono ricche di feldspato plagioclasio ricco di calcio, il minerale principale dell'anortosite, un tipo di roccia che forma la crosta lunare

**Sonda Lunar
Reconnaissance Orbiter**

Emisfero rivolto alla TERRA

Emisfero non visibile



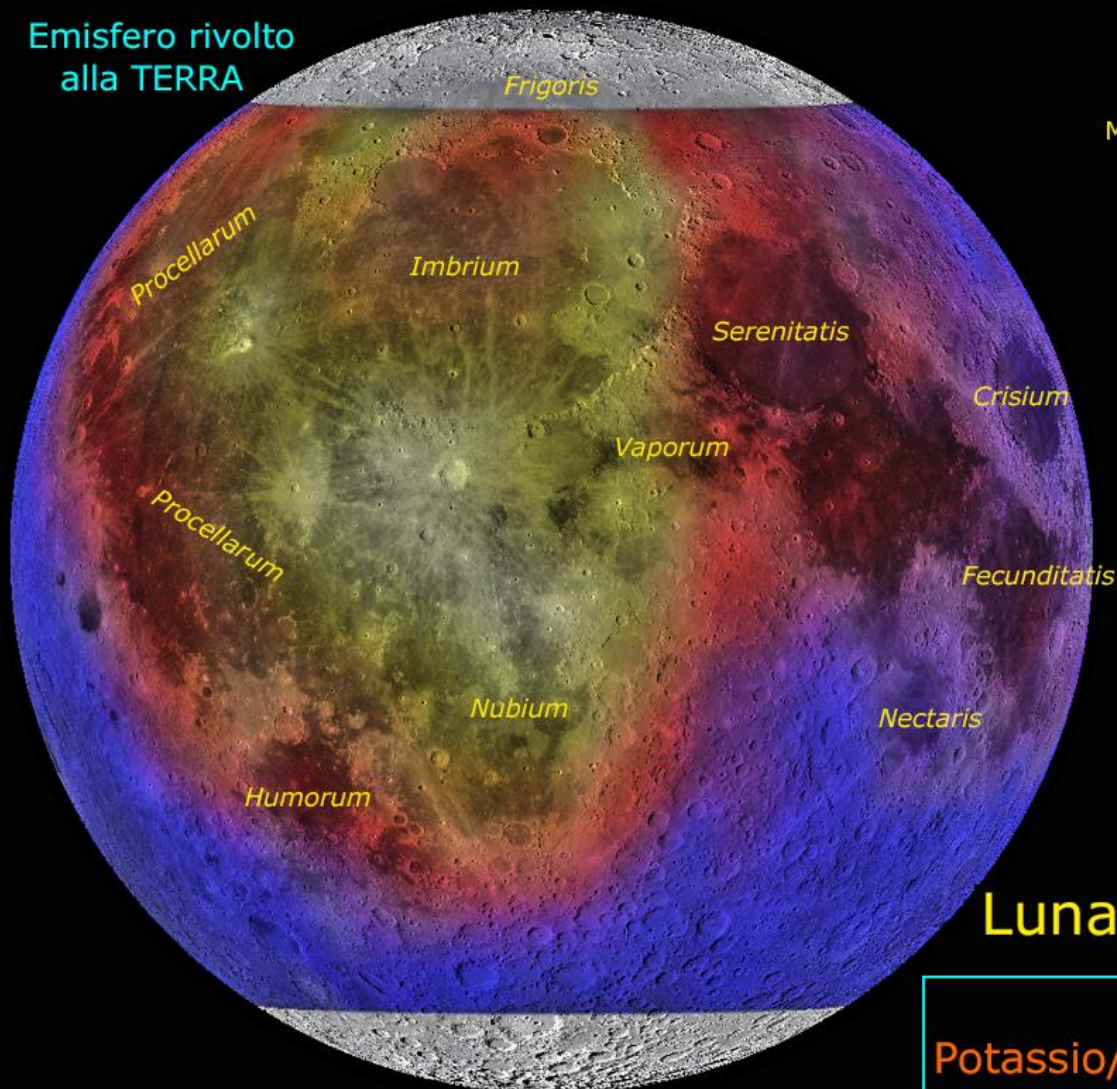
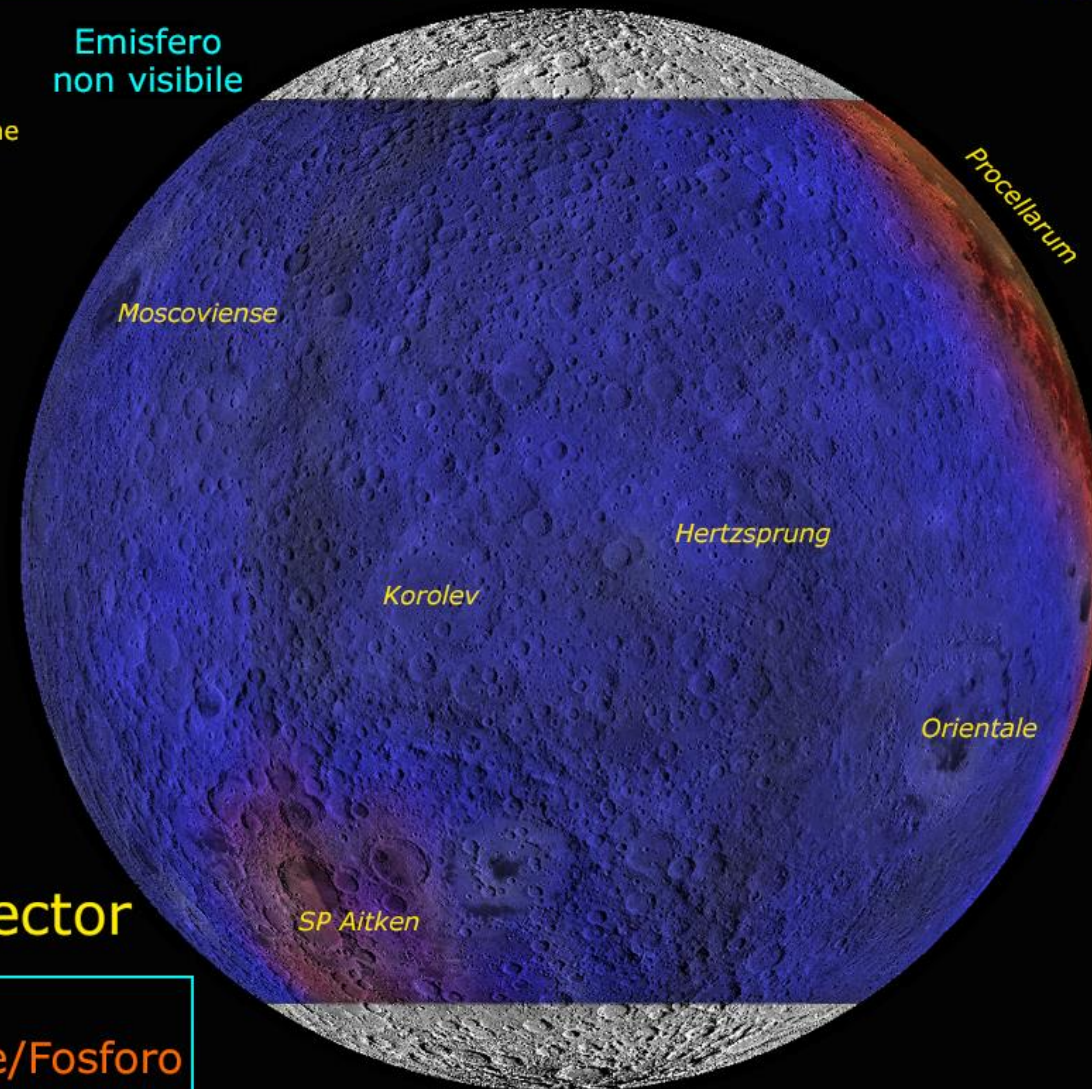
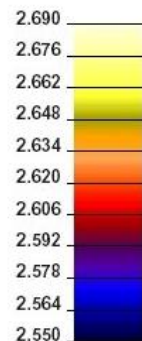
Questa sovrapposizione è stata realizzata con i dati provenienti da LRO Sonda compilata dal Dr. Mark Robinson e dal suo team. Mostra la percentuale di silicati nelle rocce lunari superficiali.

Astronomica
Langrenus

31

Presenza di Potassio

32

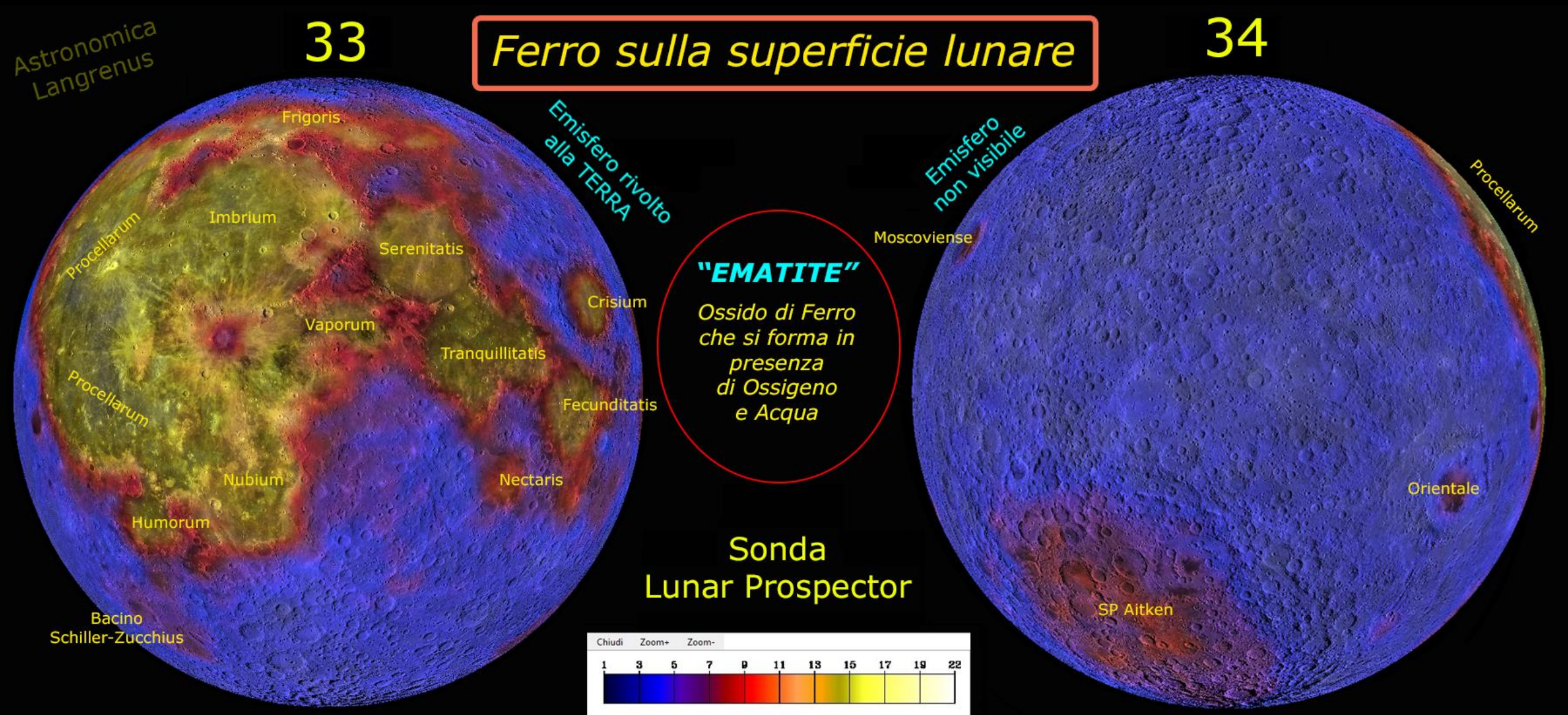
Astronomica
LangrenusEmisfero rivolto
alla TERRAEmisfero
non visibileMax concentrazione
POTASSIOLog Potassium
(counts)Minima
concentrazione
POTASSIO

Sonda Lunar Prospector

KREEP: Potassio/Terre Rare/Fosforo

La presenza di potassio sulla Luna, insieme ad altri elementi come terre rare e fosforo, è significativa perché indica la presenza di un tipo di roccia chiamato KREEP, che è un costituente importante della crosta lunare. KREEP deriva da impatti di meteoriti su minerali contenenti breccia e basalto.

Questa sovrapposizione è stata concepita sulla base dei dati raccolti dal Dr. Alan Binder e dal suo team dalla sonda Lunar Prospector. Questa sovrapposizione permette di visualizzare la ripartizione del potassio sulla superficie. L'unità di misura si basa sui conteggi di rilevamento. È immediatamente evidente che i mari della faccia visibile sono ricchi di questo elemento.

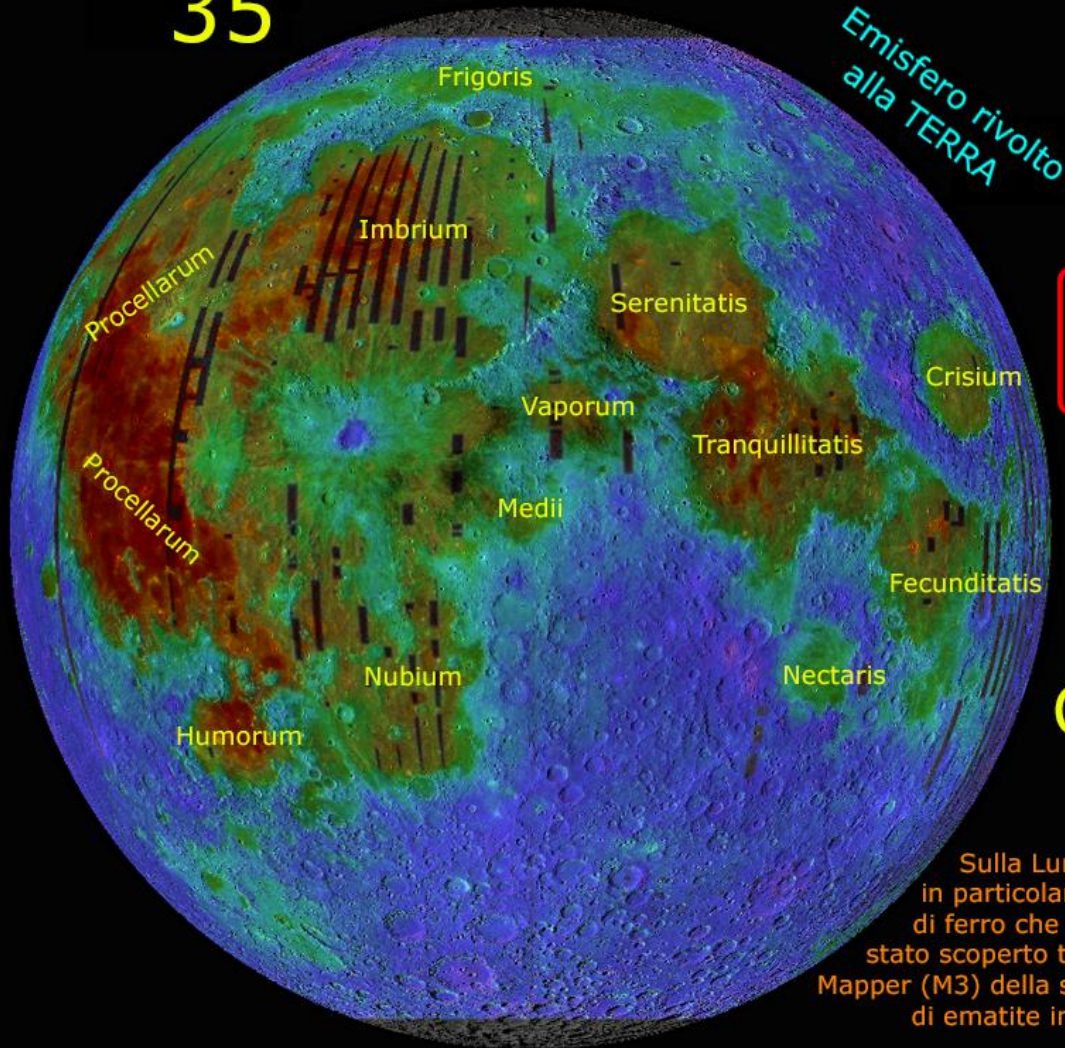


Sulla superficie della Luna è stato trovato ferro, **sia in forma di ferro metallico nel nucleo, sia sotto forma di ossidi di ferro**, come l'ematite, secondo diverse fonti. L'ematite è stata scoperta in particolare nelle regioni polari, ed è un ossido di ferro che si forma in presenza di ossigeno e acqua.

Questa sovrapposizione è stata concepita sulla base dei risultati ottenuti dal Dr. Alan Binder e dal suo team dalla sonda Lunar Prospector. Permette di visualizzare la ripartizione del ferro sulla superficie. Immediatamente, si può notare che i mari della faccia visibile sono ricchi di ferro.

"Ossido di ferro" sulla Luna / Ossido Ferrico o "Ematite"

35



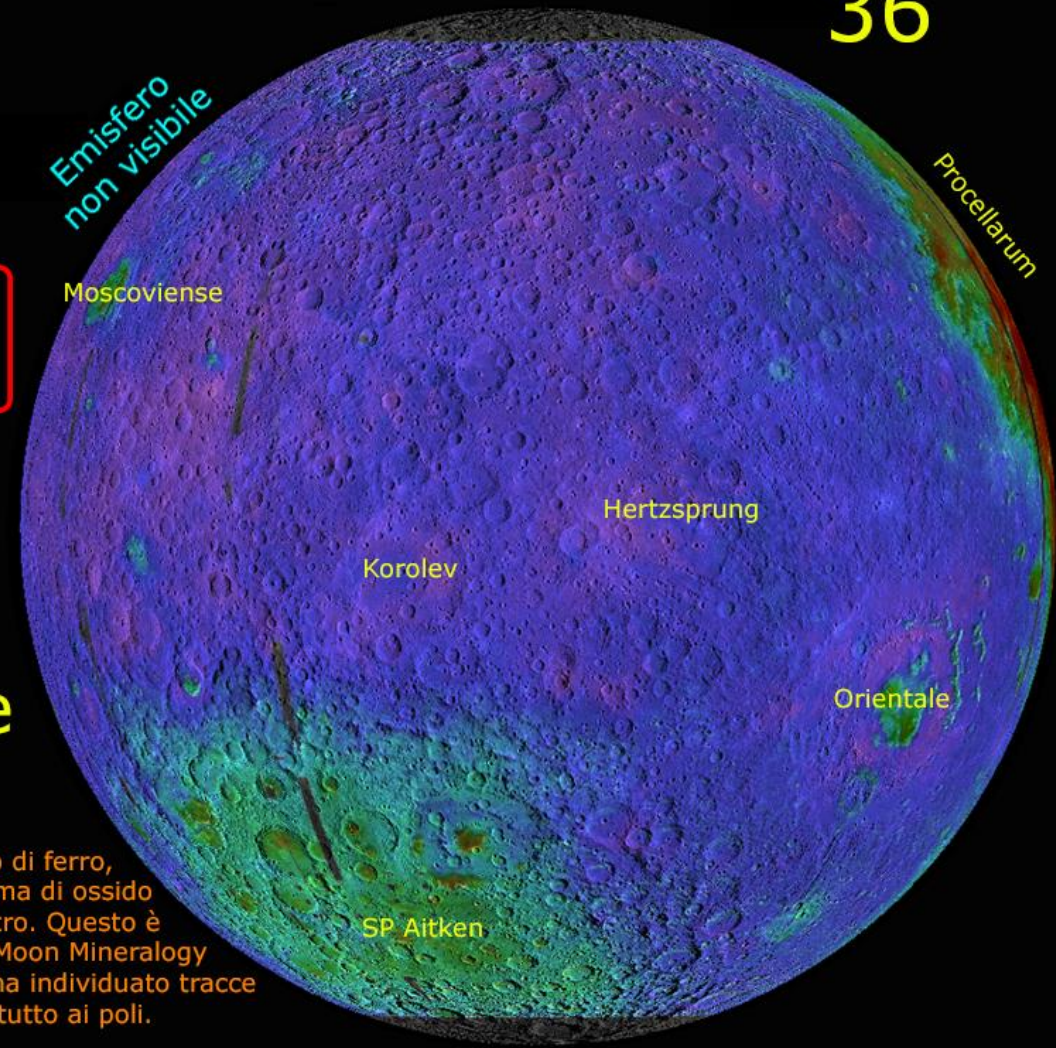
Astronomica
Langrenus

Elevata conc.
Minima conc.

Sonda
Clementine

Sulla Luna è stato riscontrato ossido di ferro, in particolare **ematite (Fe_2O_3)**, una forma di ossido di ferro che conferisce un colore rossastro. Questo è stato scoperto tramite l'analisi dei dati del Moon Mineralogy Mapper (M3) della sonda Chandrayaan-1, che ha individuato tracce di ematite in diverse aree lunari, soprattutto ai poli.

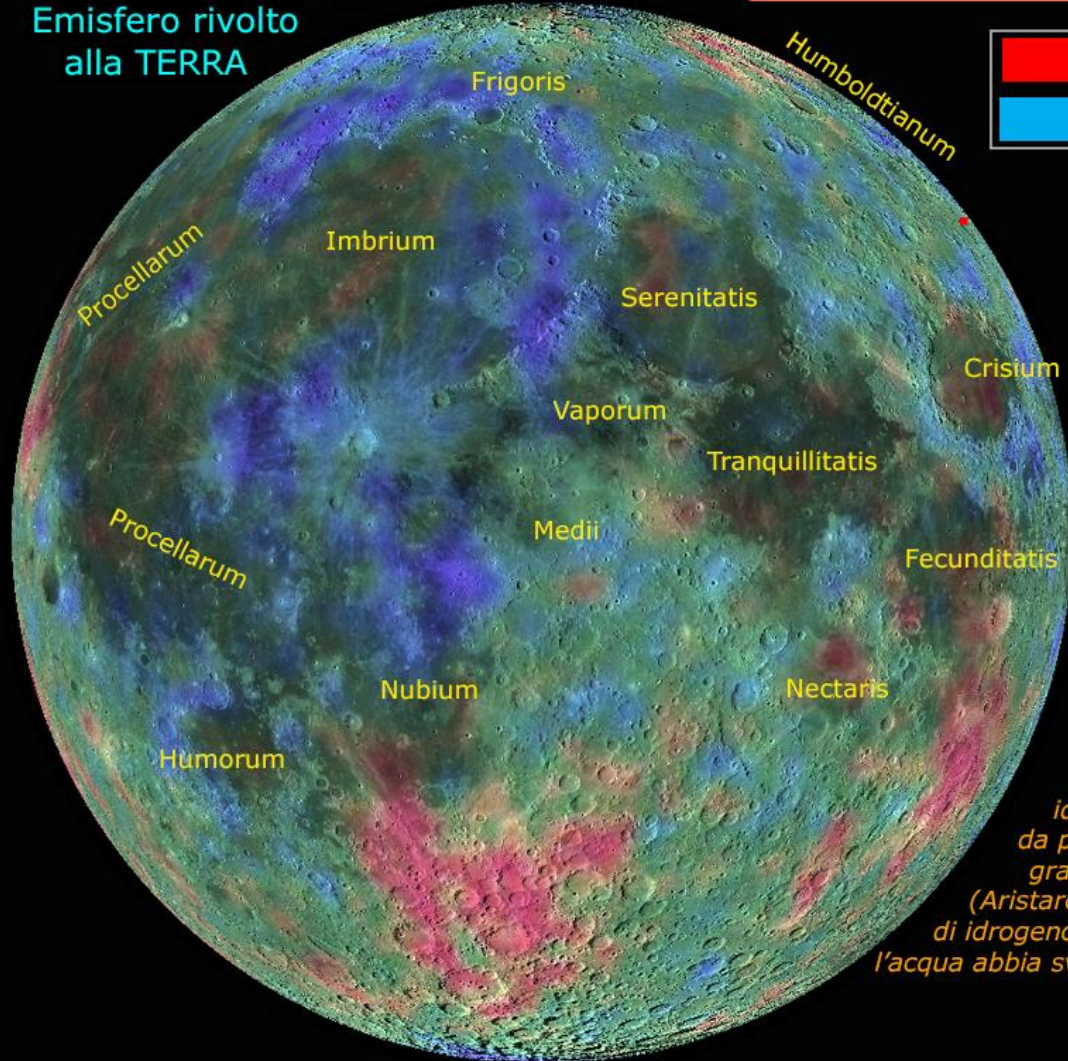
36



Sulla superficie della Luna è stato trovato ferro, sia in forma di ferro metallico nel nucleo, sia sotto forma di ossidi di ferro, come l'ematite, secondo diverse fonti. L'**ematite** è stata scoperta in particolare nelle regioni polari, ed è un ossido di ferro che si forma in presenza di ossigeno e acqua.

Come si forma l'ematite: Si ipotizza che l'ematite lunare si sia formata attraverso l'ossidazione del ferro della superficie lunare da parte dell'ossigeno dell'alta atmosfera della Terra, secondo Global Science. L'ossigeno, trasportato dal vento solare verso la Luna, reagirebbe con il ferro, formando l'ematite.

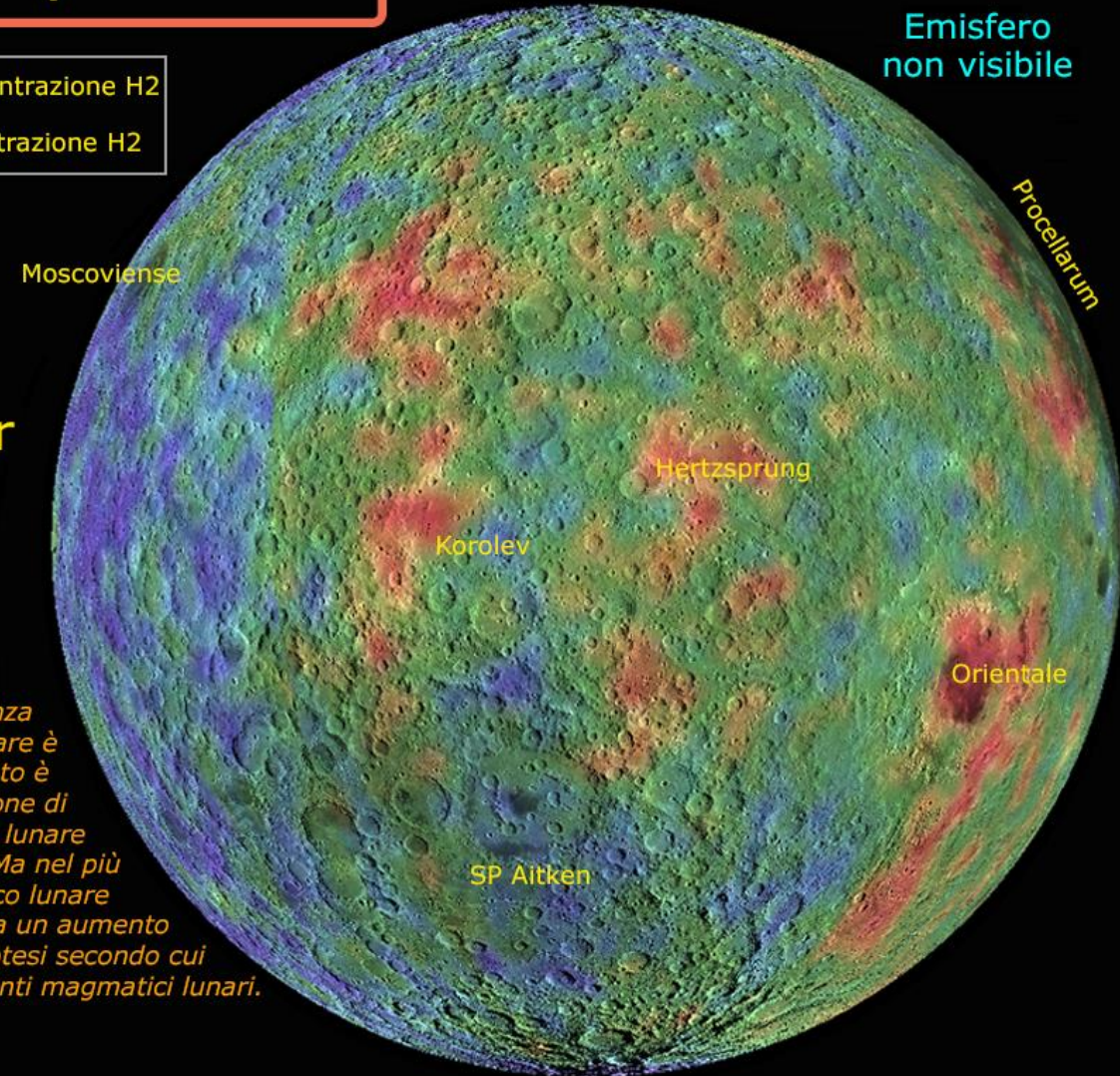
Emisfero rivolto
alla TERRA



**Sonda
Lunar
Prospector**

Risulta che la presenza media di idrogeno lunare è di 47 ppm. Questo dato è coerente con l'immissione di idrogeno sulla superficie lunare da parte del vento solare. Ma nel più grande deposito piroclastico lunare (Aristarchus Plateau) si osserva un aumento di idrogeno, il che conferma le ipotesi secondo cui l'acqua abbia svolto un ruolo negli eventi magmatici lunari.

Emisfero
non visibile



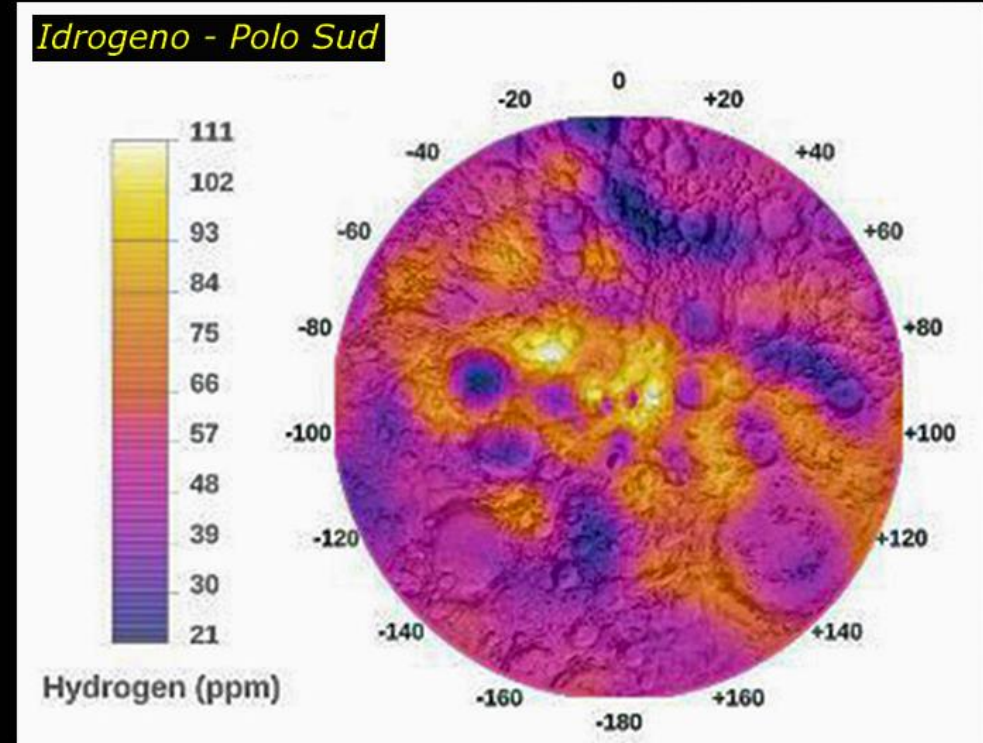
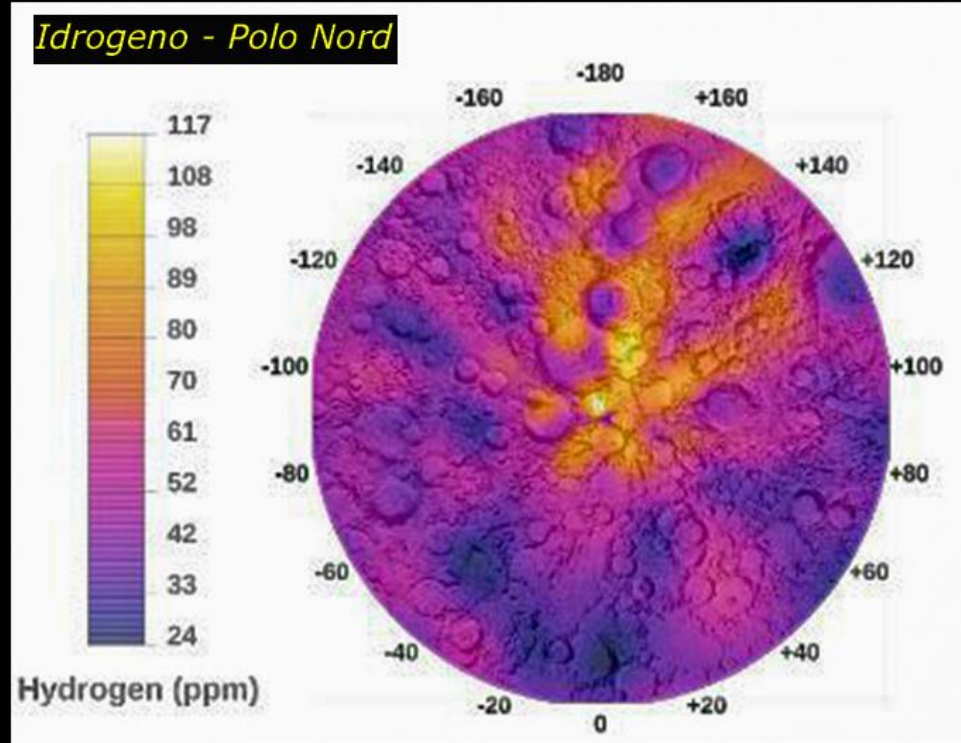
«Quando la Luna si è raffreddata, dalla fusione si sono formati dei minerali e il KREEP, un particolare tipo di roccia che è l'ultimo tipo di materiale a cristallizzarsi e indurirsi». Il fatto che il KREEP sia ricco di idrogeno suggerisce che l'acqua abbia giocato un ruolo significativo in questa massa magmatica che si è poi solidificata.

Questa sovrapposizione è stata concepita sulla base dei risultati ottenuti dal Dr. Alan Binder e dal suo team dalla sonda Lunar Prospector. Permette di visualizzare la ripartizione dell'idrogeno sulla superficie. Al momento non è disponibile alcuna didascalia, ma il rosso indica le alte concentrazioni di idrogeno e il blu quelle più basse.

Idrogeno sulla superficie

Analizzando i dati acquisiti dal Lunar Prospector, un team di scienziati della Johns Hopkins University ha prodotto la prima mappa globale delle abbondanze di idrogeno sulla superficie della Luna. I dati confermano il ruolo avuto dall'acqua nella formazione del nostro satellite

39



40

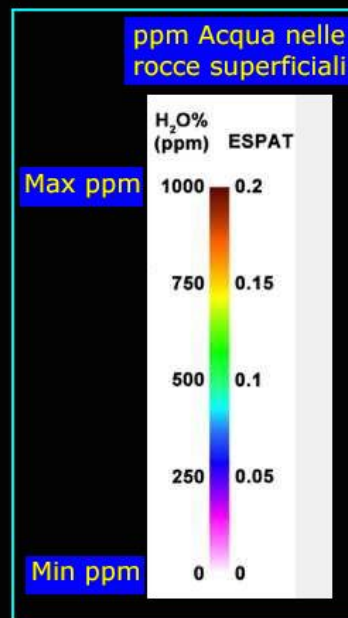
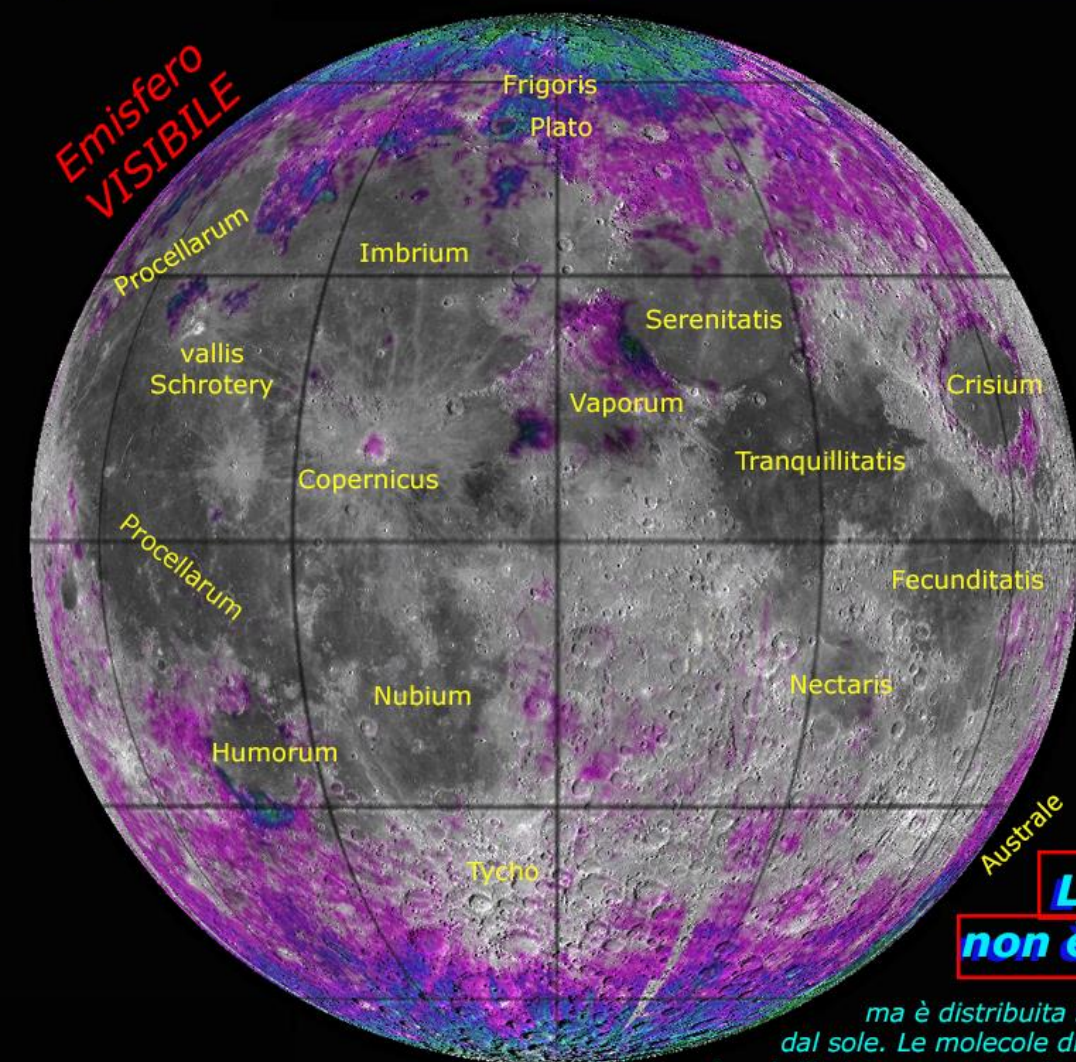
(Sopra): Le mappe della distribuzione dell'idrogeno ai poli nord e sud della Luna. Crediti: Johns Hopkins Apl

Secondo le analisi dei ricercatori, l'abbondanza media dell'idrogeno lunare è di 47 parti per milione

Arricchimento di idrogeno in due tipi di materiali lunari:

- 1) Roccia di tipo eruttivo in Aristarchus Plateau, il più grande deposito piroclastico lunare: Concentrazione 50/68 ppm
- 2) Roccia nota come "KREEP" (Acronimo di Potassio, Terre Rare, Fosforo): Residuo dell'oceano globale di magma.

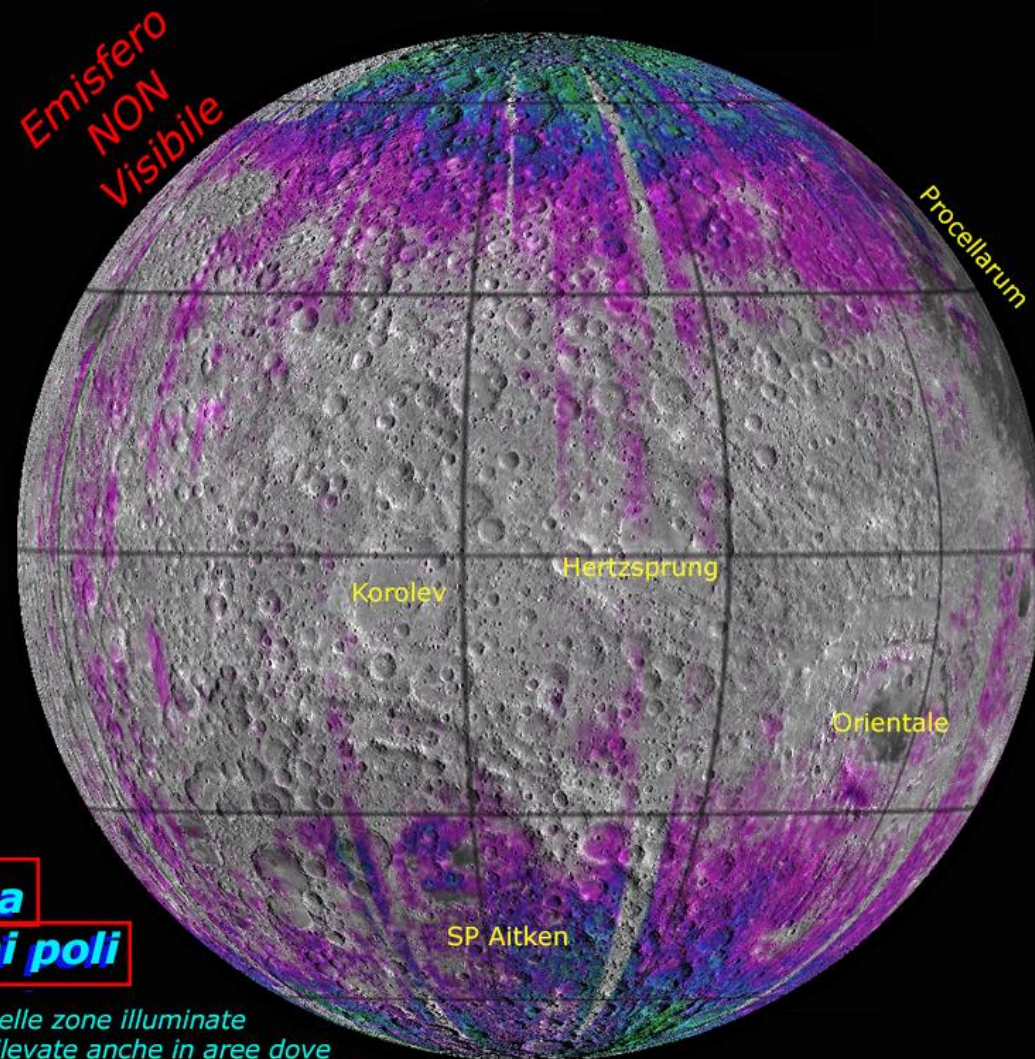
- Minima quantità di acqua stimata: a) Rocce ERUTTIVE da 450 a 612 ppm - b) Rocce KREEP da 320 a 820 ppm.



Sonda indiana
Chandrayann 1

**L'acqua sulla Luna
non è presente solo ai poli**

ma è distribuita su tutta la superficie, incluso nelle zone illuminate dal sole. Le molecole di acqua e idrossile sono state rilevate anche in aree dove la luce solare brilla intensamente, dimostrando che l'acqua è più diffusa di quanto si pensasse in precedenza.



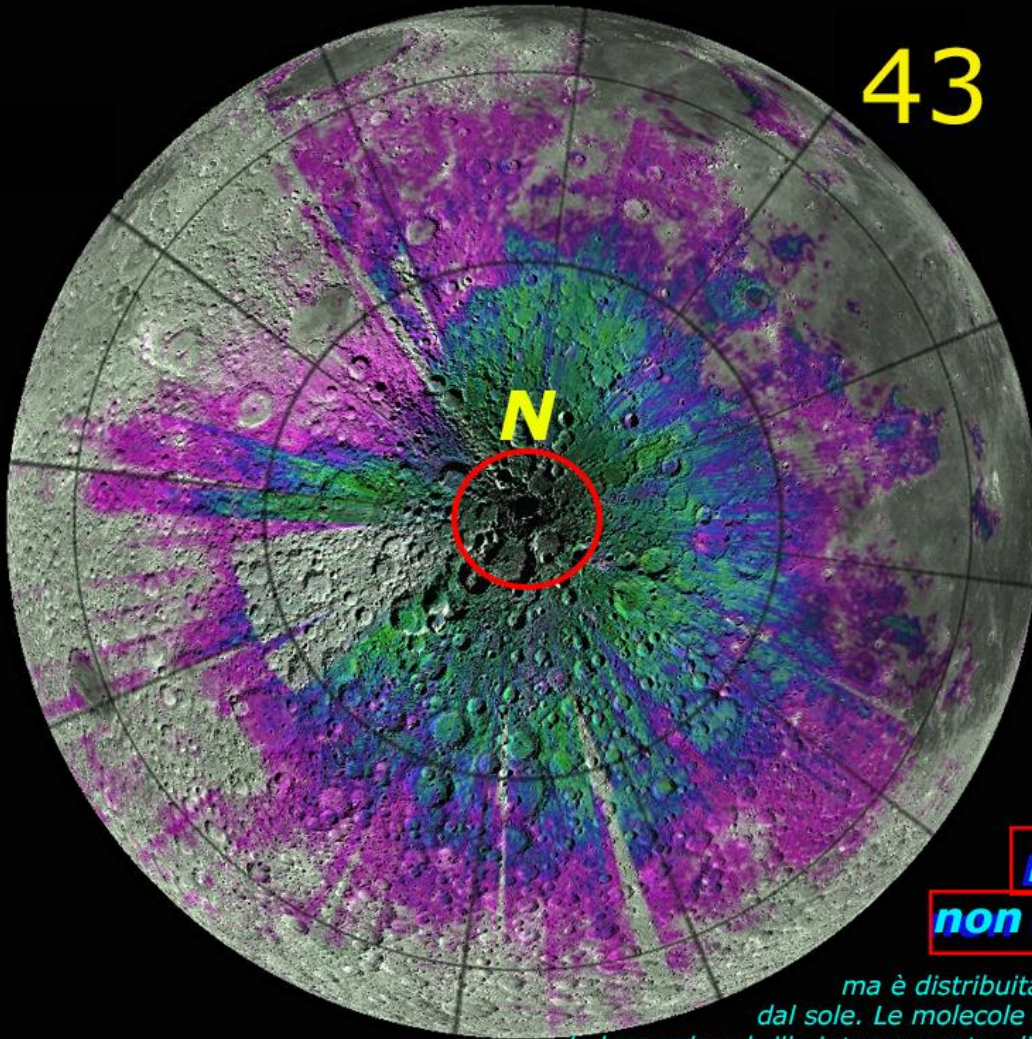
Nel 2020, l'Osservatorio Stratosferico per l'Astronomia Infrarossa (SOFIA), un progetto congiunto NASA e Agenzia Spaziale Tedesca, ha scoperto molecole d'acqua sulla superficie della Luna all'interno del cratere Clavius in concentrazioni tra 100 e 412 parti per milione. SOFIA è un aereo Boeing 747SP modificato dotato di un telescopio riflettore da 2,7 metri.

Questo strato è costituito da dati orbitali registrati dalla sonda indiana Chandrayann 1 e compilati da ISRO e Shuai Li e Ralph E. Milliken nel 2017. Permette di visualizzare la presenza di acqua nelle rocce superficiali.

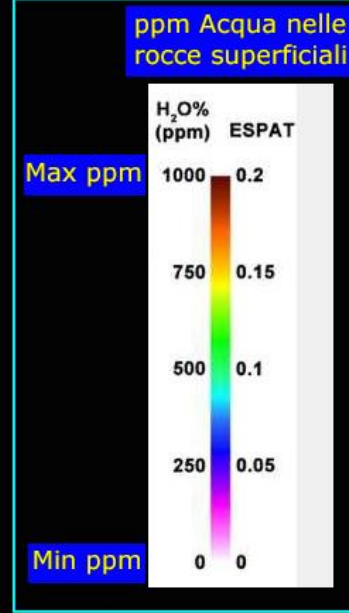
Verticale
Polo NORD

"Chandrayann": Acqua nelle rocce superficiali

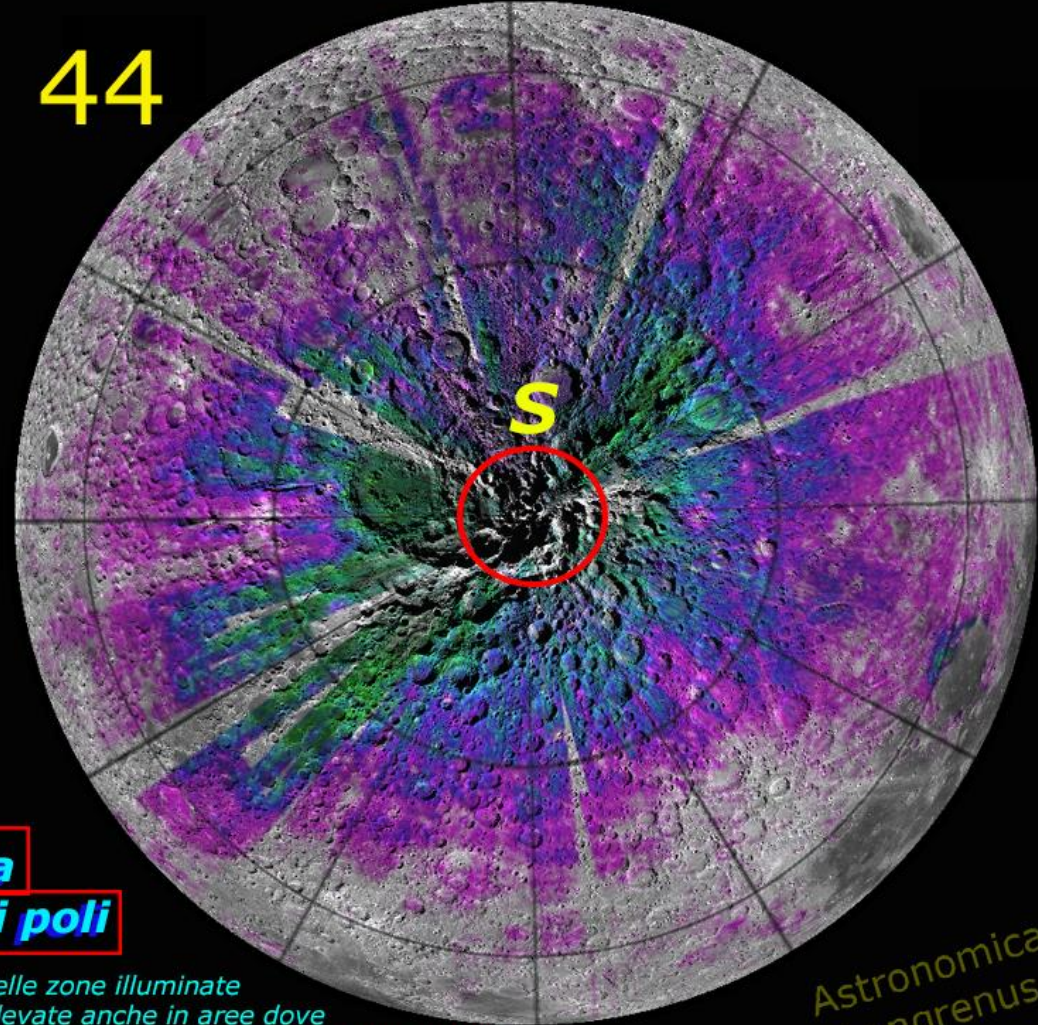
Verticale
Polo SUD



43



Sonda indiana
Chandrayann 1



44

**L'acqua sulla Luna
non è presente solo ai poli**

ma è distribuita su tutta la superficie, incluso nelle zone illuminate dal sole. Le molecole di acqua e idrossile sono state rilevate anche in aree dove la luce solare brilla intensamente, dimostrando che l'acqua è più diffusa di quanto si pensasse in precedenza.

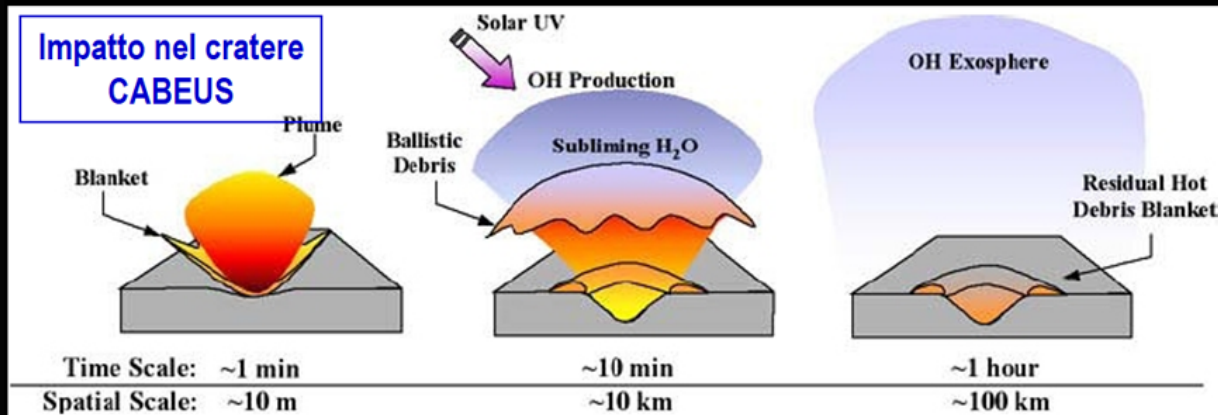
Astronomica
Langrenus

La sonda indiana Chandrayaan-1, attraverso lo strumento **Moon Mineralogy Mapper (M3)**, ha fornito prove significative della presenza di acqua sulla Luna, in particolare in aree polari permanentemente oscurate. La sonda ha individuato bande di assorbimento tipiche del ghiaccio d'acqua e del gruppo OH (idrossile) in questi crateri, dimostrando la presenza di acqua ghiacciata.

Questo strato è costituito da dati orbitali registrati dalla sonda indiana Chandrayann 1 e compilati da ISRO e Shuai Li e Ralph E. Milliken nel 2017. Permette di visualizzare la presenza di acqua nelle rocce superficiali.

Da mezzo secolo sanno che c'è acqua sulla LUNA !!

- 1976 Sonda **"Luna 24"** (URSS): Analizzati campioni di roccia (prof. 2mt). **Accertata acqua 0,1%** (tot. peso rocce)
- 1994 Sonda **"Clementine"**: **Consistenti depositi di ghiaccio d'acqua** nei crateri polari col fondo in ombra.
- 1998 Sonda **"Lunar Prospector"**: **Elevata concentrazione di idrogeno** ai POLI, presenza di acqua ghiacciata.
- 2008 Sonda **"Chandrayaan-1"**: "Moon Mineralogy Mapper" (M3) rileva **"Idrossile OH"** anche lontano dai poli.
- 2009 Sonda **"LCROSS"**: Impatto Razzo Centaur in Cabeus, analisi detriti conferma **"Idrossili OH"** e **ACQUA**.



Strumenti LCROSS e LRO:

Analisi colonna di detriti
(circa 6 tonnellate)

Il 6% della massa totale è da
attribuire a

GHIACCIO d'ACQUA

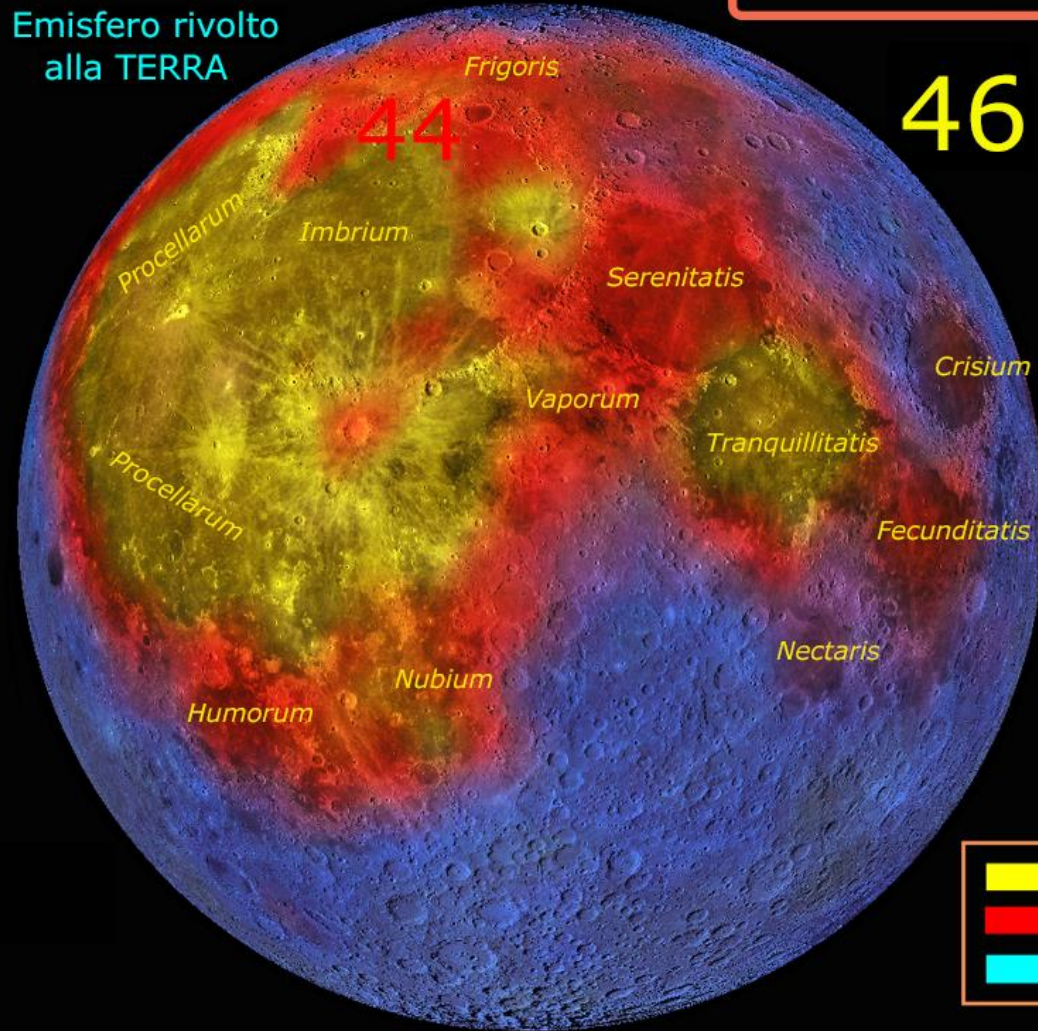
- 2020: Sonda **"Chang'e 5"**: **Acqua sulla Luna confermata** da diverse missioni sia come ghiaccio nei crateri polari sia come molecole intrappolate nei minerali e perle di vetro sulla superficie lunare in seguito a impatti meteoritici.

Il vento solare, composto da protoni (ioni di idrogeno), colpisce la superficie lunare interagendo con l'ossigeno presente nei minerali lunari formando il gruppo **"Idrossile OH"** il quale può combinarsi con altri atomi di idrogeno per formare molecole di acqua (H₂O).

L'**"Idrossile OH"** sulla Luna è un indicatore della presenza di acqua e di un processo continuo di produzione e rilascio di molecole d'acqua, legato all'interazione del vento solare con la superficie lunare.

Presenza del Titanio

Emisfero rivolto
alla TERRA



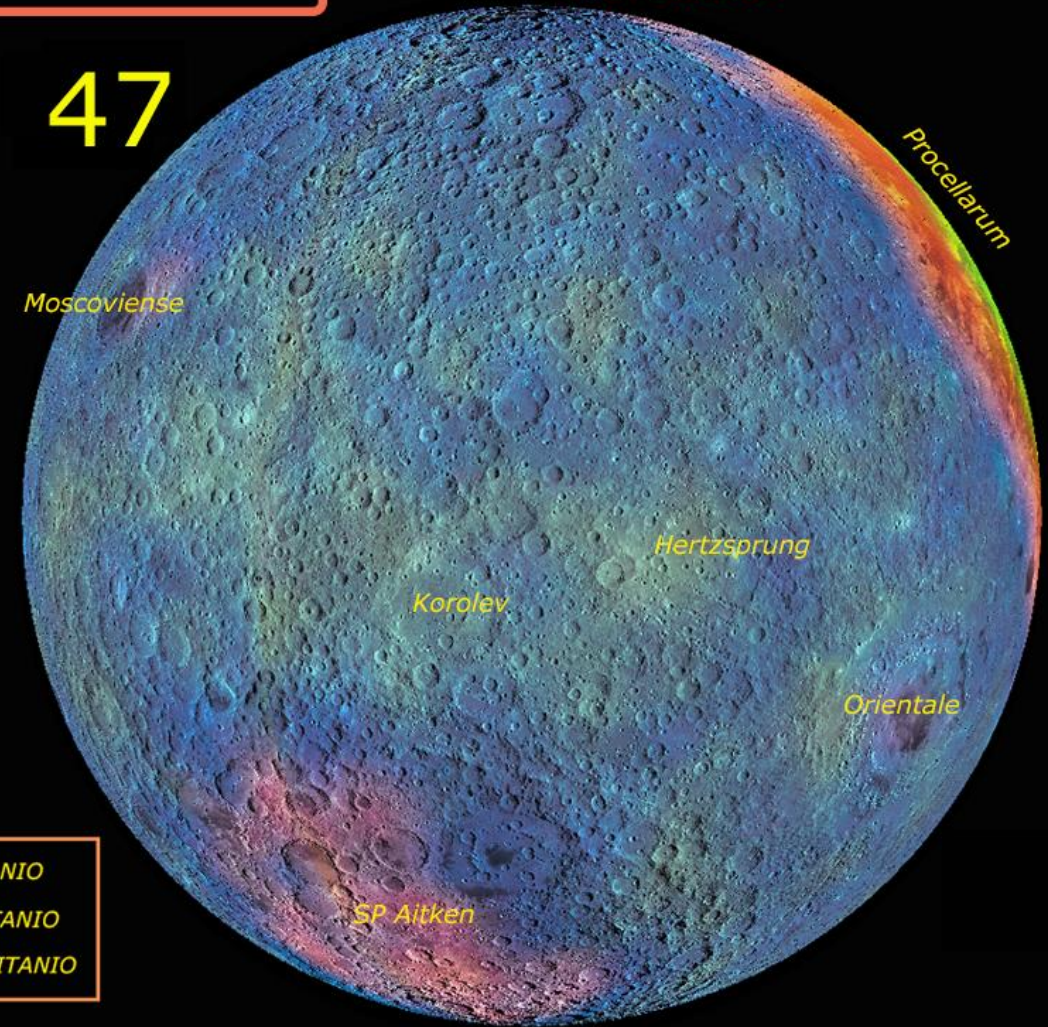
46

Sonda
Lunar
Prospector

Astronomica
Langrenus

47

Emisfero
non visibile



ALTA concentrazione TITANIO
MEDIA concentrazione TITANIO
SCARSA concentrazione TITANIO

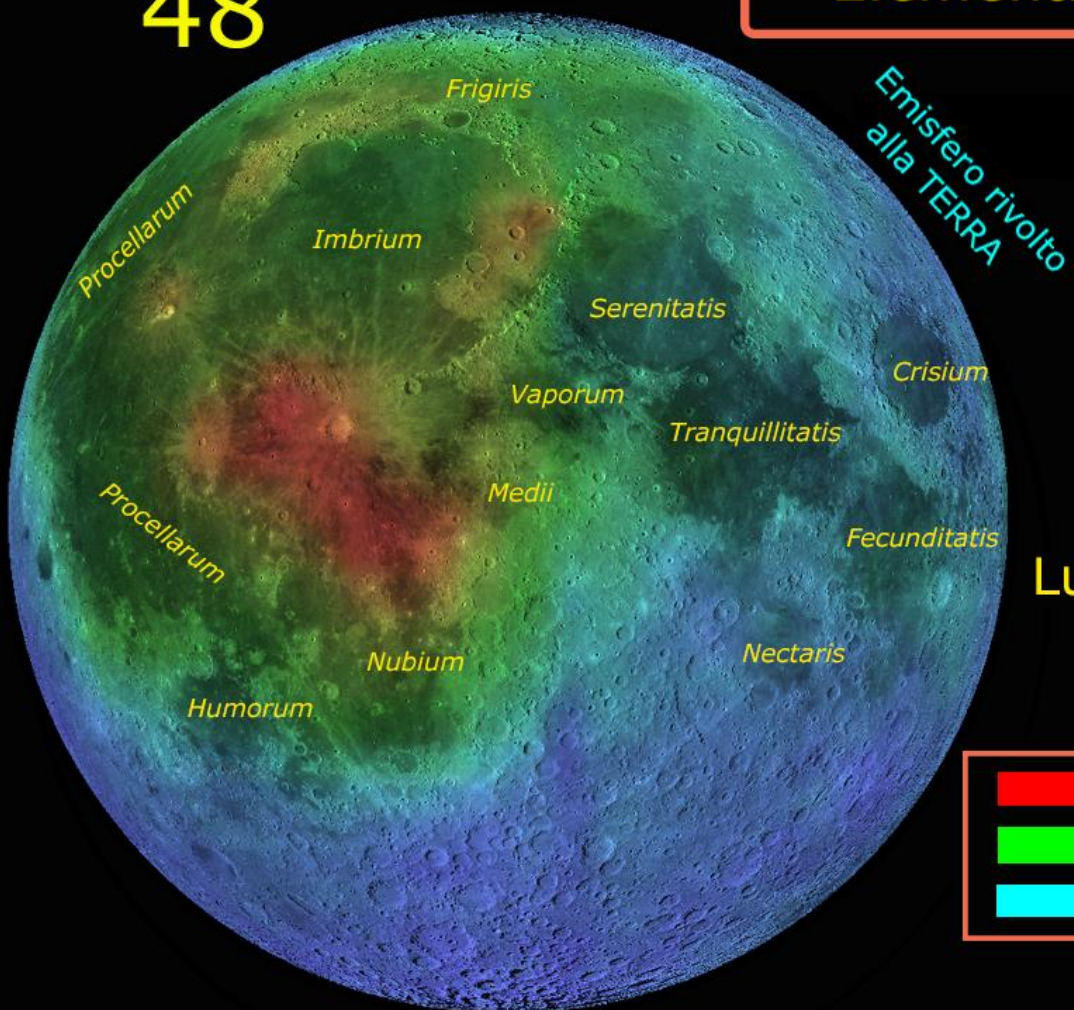
Il titanio è presente sulla luna, sia nella superficie che in profondità. Alcuni ricercatori suggeriscono che l'elevata quantità di titanio nel magma lunare possa essere un fattore che impedisce l'eruzione vulcanica in superficie.

Questa sovrapposizione è stata concepita sulla base dei risultati ottenuti dal Dr. Alan Binder e dal suo team dalla sonda Lunar Prospector. Permette di visualizzare la ripartizione del titano sulla superficie. Immediatamente, si può notare che i mari della faccia visibile sono ricchi di questo metallo.

48

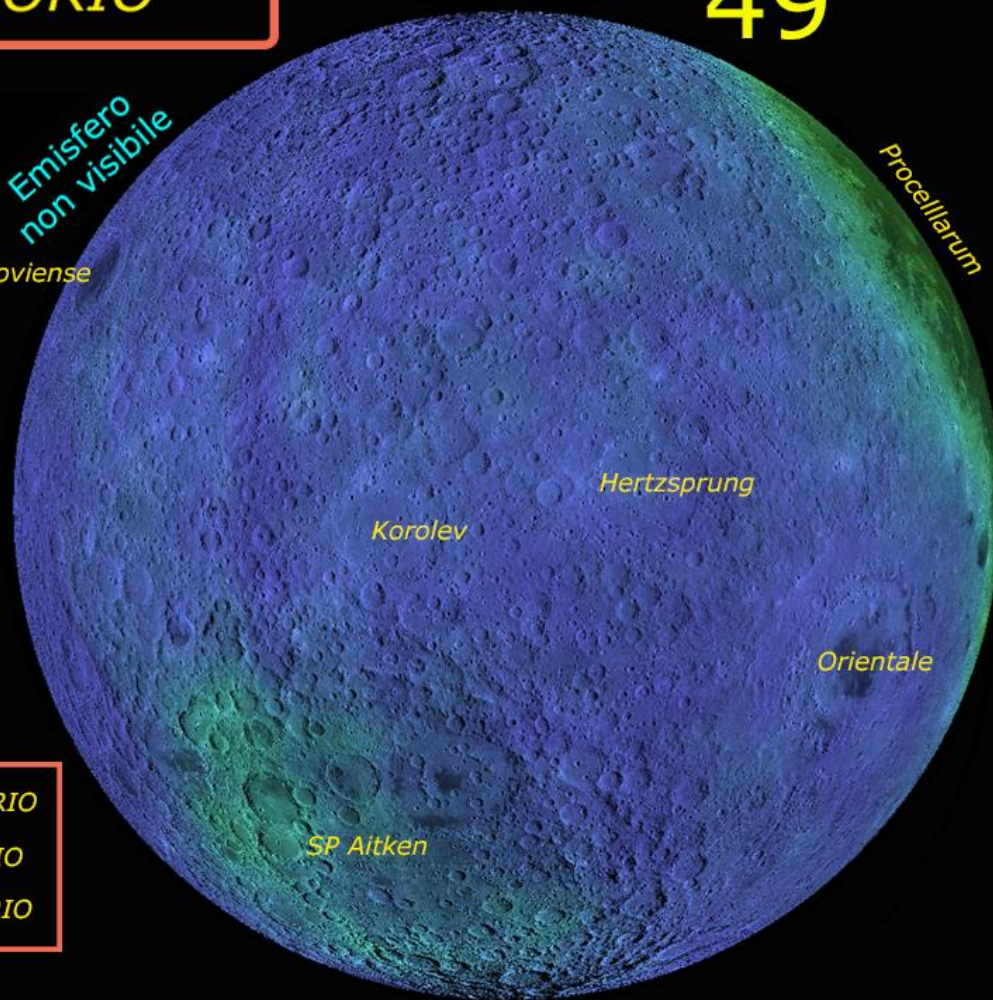
Elementi radioattivi: TORIO

49



Sonda Lunar Prospector

Emisfero non visibile
Moscoviense



- Elevata concentrazione TORIO
- Media concentrazione TORIO
- Scarsa concentrazione TORIO

Il torio è presente sulla Luna, ed è legato alla formazione di un particolare tipo di roccia chiamato **KREEP (Potassio, Terre Rare, Fosforo)**. La concentrazione di torio sulla superficie lunare è stata mappata dal Lunar Prospector, e rappresenta un indicatore della presenza di KREEP, che è un residuo del magma originario dopo la solidificazione.

Fonti di calore:

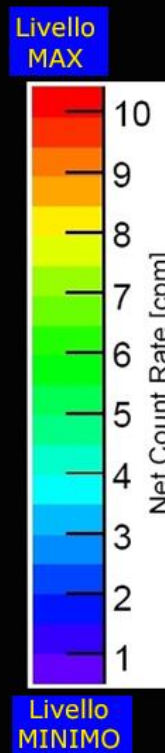
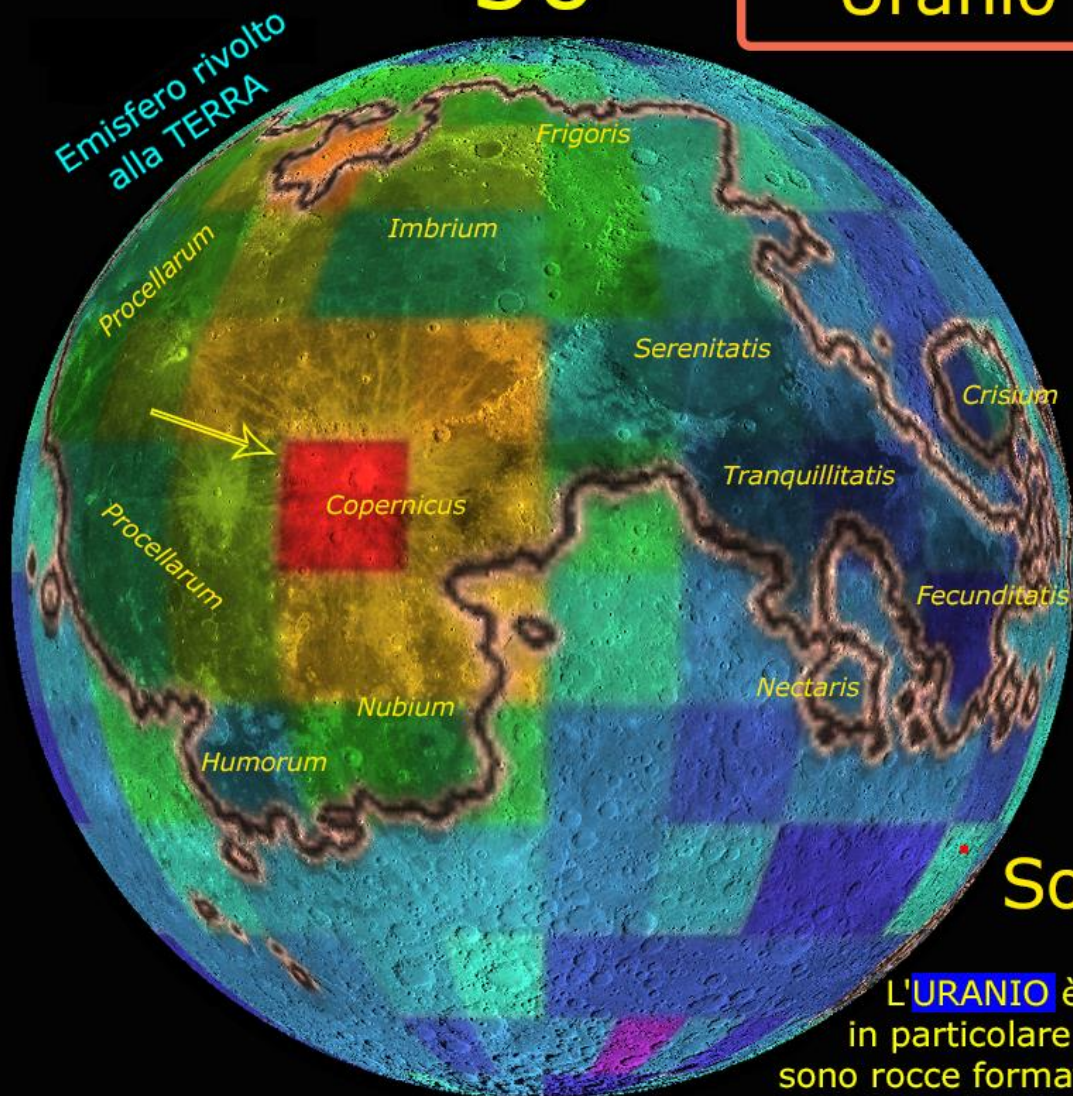
Il decadimento radioattivo del torio contribuisce a generare calore nella crosta lunare, insieme all'uranio e al potassio (in particolare l'isotopo 40K)

Elevate concentrazioni di Torio sono state individuate nei bacini da impatto dell'emisfero lunare visibile dal nostro pianeta. Indicate graficamente con la tonalità rossa, le zone ricche di questo elemento radioattivo sono localizzate nel mare Insularum ad W e S del cratere Copernicus e nella zona fra il nord del mare nubium ed il sinus Aestuum.

50

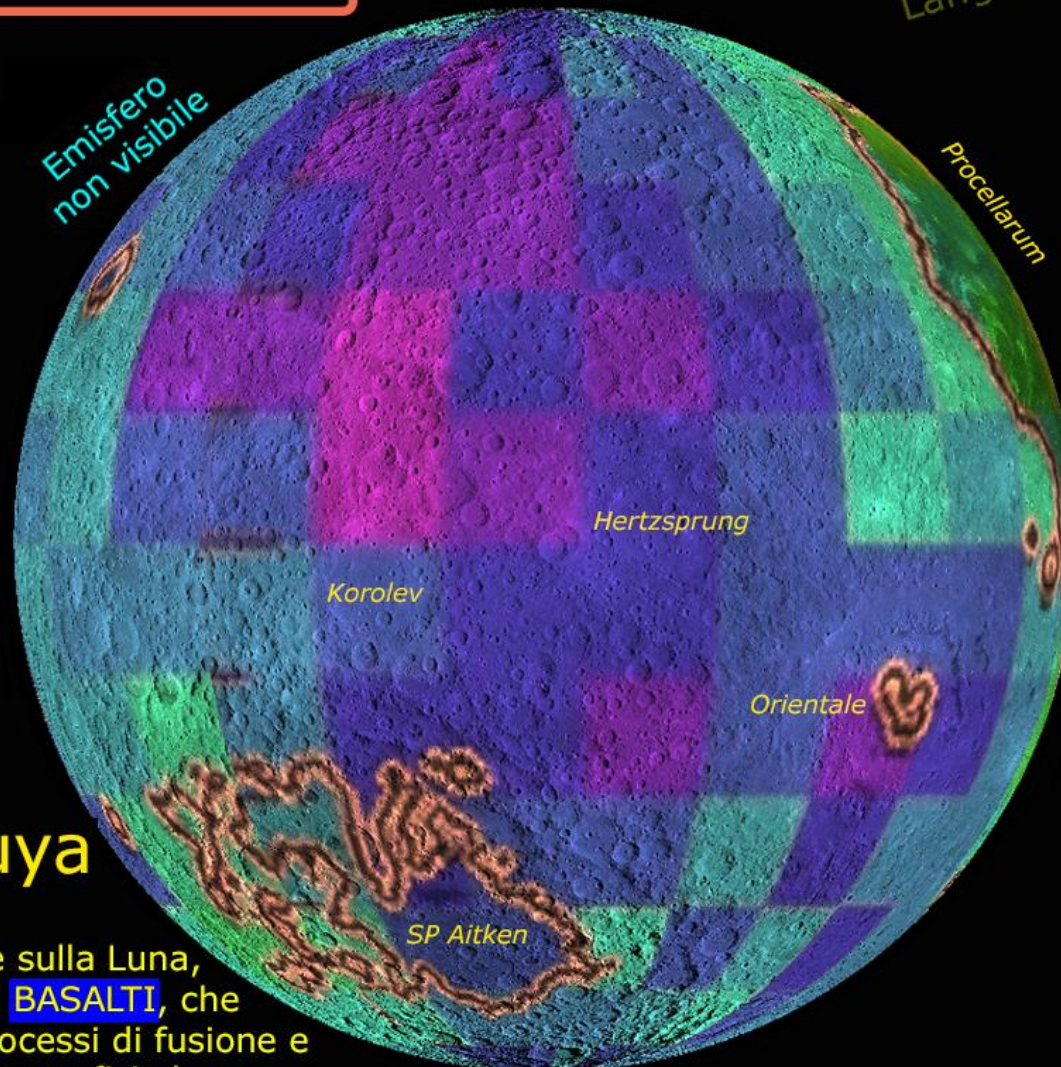
Uranio nelle rocce lunari

51

Astronomica
Langrenus

Sonda Kaguya

L'**URANIO** è presente in tracce sulla Luna,
in particolare nelle **NORITI** e nei **BASALTI**, che
sono rocce formatesi in seguito a processi di fusione e
migrazione dal sottosuolo verso la superficie lunare.



NORITI: Abbondanza di elementi radioattivi

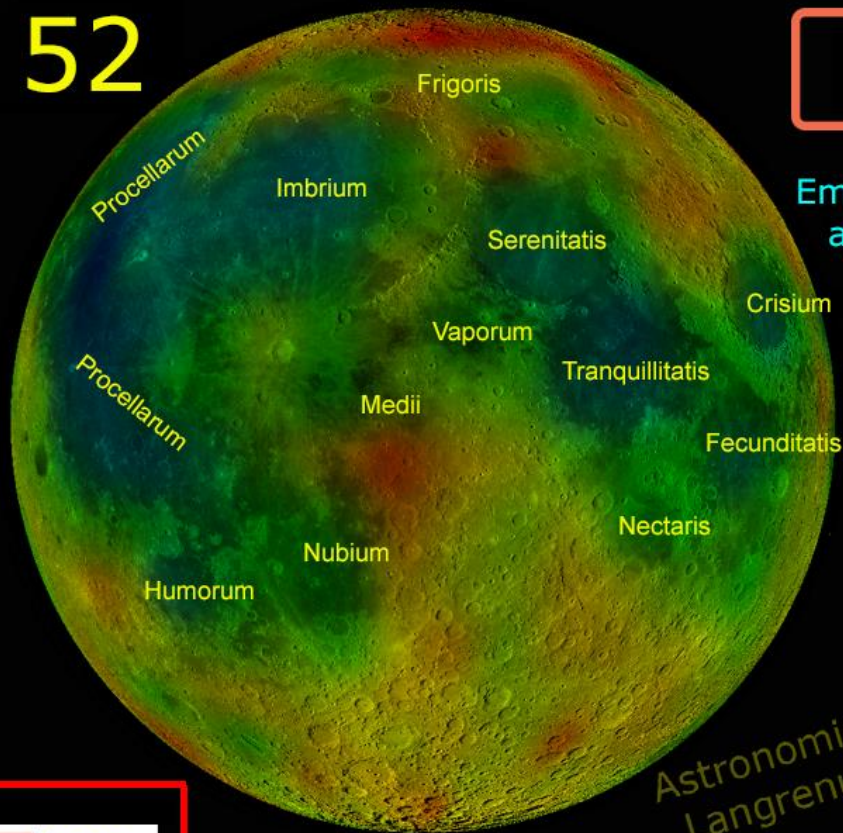
BASALTI: Rocce da parziale fusione del mantello

Composizione della crosta lunare:

La crosta lunare è composta da Ossigeno, Silicio, Magnesio, Ferro, Calcio e Alluminio, ma anche Titanio, Uranio, Torio, Potassio e Idrogeno sono presenti in quantità minori o tracce

Questa sovrapposizione è realizzata con i dati della sonda giapponese raccolti dal team JAXA. La didascalia si basa sul conteggio delle particelle di uranio emesse. Permette di visualizzare approssimativamente la presenza di uranio nelle formazioni. È facile notare che i mari della faccia visibile sono ricchi di questo elemento.

52

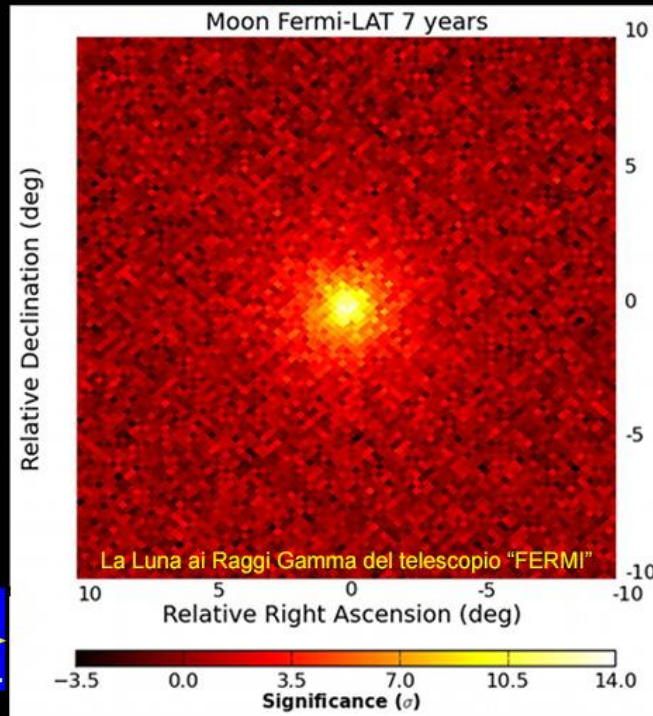


Raggi Gamma & la Luna

Emisfero rivolto
alla TERRA

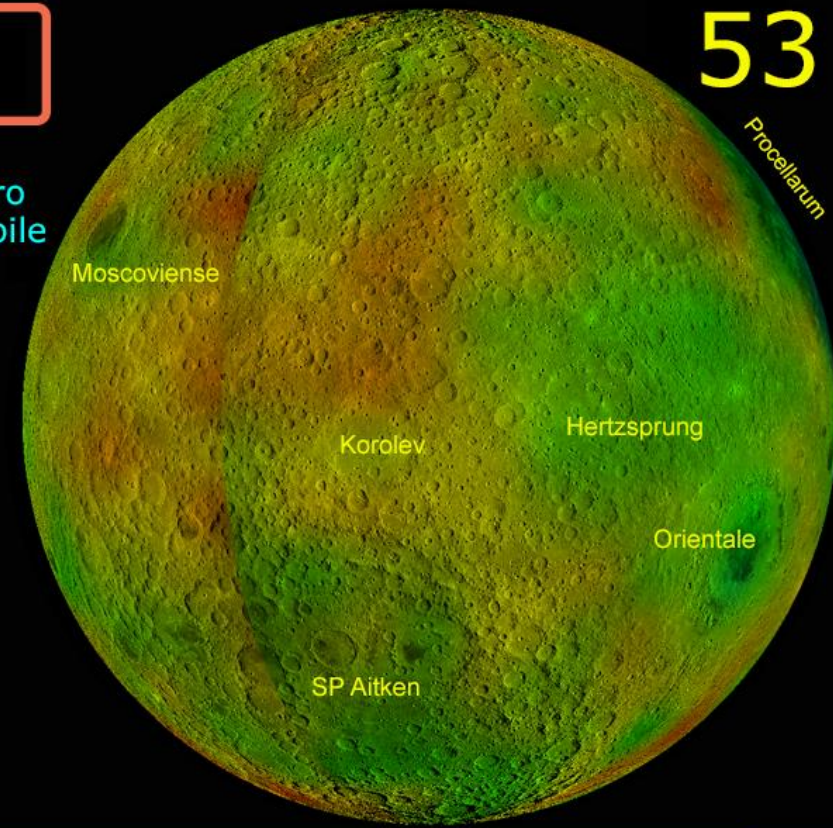
*La LUNA ai
Raggi GAMMA*

Emisfero
non visibile



La Luna ai Raggi Gamma del telescopio "FERMI"

53



*Il telescopio spaziale a raggi gamma Fermi (in inglese **Fermi Gamma-ray Large Area Space Telescope**, o **GLAST**) è un telescopio spaziale di grande area per la rilevazione di raggi gamma, lanciato nel 2008.*

*Astronomica
Langrenus*

La Luna osservata dal telescopio spaziale per i
RAGGI GAMMA "Fermi/LAT" (GLAST) →
Immagine realizzata con dati raccolti dal 2008 al 2015.

Crediti:

NASA, DOE, International Fermi LAT Collaboration.

- La Luna emette raggi gamma a causa dell'impatto dei raggi cosmici sulla sua superficie. Questi raggi cosmici, non ostacolati da atmosfera o campo magnetico, interagiscono con il suolo lunare, producendo raggi gamma che vengono poi emessi nello spazio.
- A causa della direzione da cui provengono i raggi cosmici (da tutte le direzioni), la Luna, vista nei raggi gamma, appare sempre "piena", indipendentemente dalle sue fasi visibili dalla Terra.
- La luminosità della Luna nei raggi gamma non segue il ciclo mensile delle fasi lunari, ma piuttosto il ciclo undecennale dell'attività solare, con variazioni dovute alle fluttuazioni nel campo magnetico solare.

La sonda "Kaguya" (Nota anche come "Selene") era dotata di uno spettrometro a raggi gamma ad alta sensibilità che ha permesso di rilevare l'emissione di raggi gamma dalla superficie lunare, causata dall'interazione con i raggi cosmici, e di identificare gli elementi presenti fra cui l'Uranio. (Team JAXA. La didascalia si basa sul livello di raggi gamma rilevato dalla sonda).

0,117
0,115
0,111
0,107
0,103
0,099
0,095

Ratio of Counting Rate (γ/N)

Quale la causa delle Asimmetrie lunari ?

Queste differenze tra emisferi della Luna sarebbero principalmente dovute al catastrofico evento verificatosi 4-4,3 miliardi di anni fa con la formazione del più vasto bacino da impatto presente sulla Luna ed uno dei più estesi nel nostro Sistema Solare:

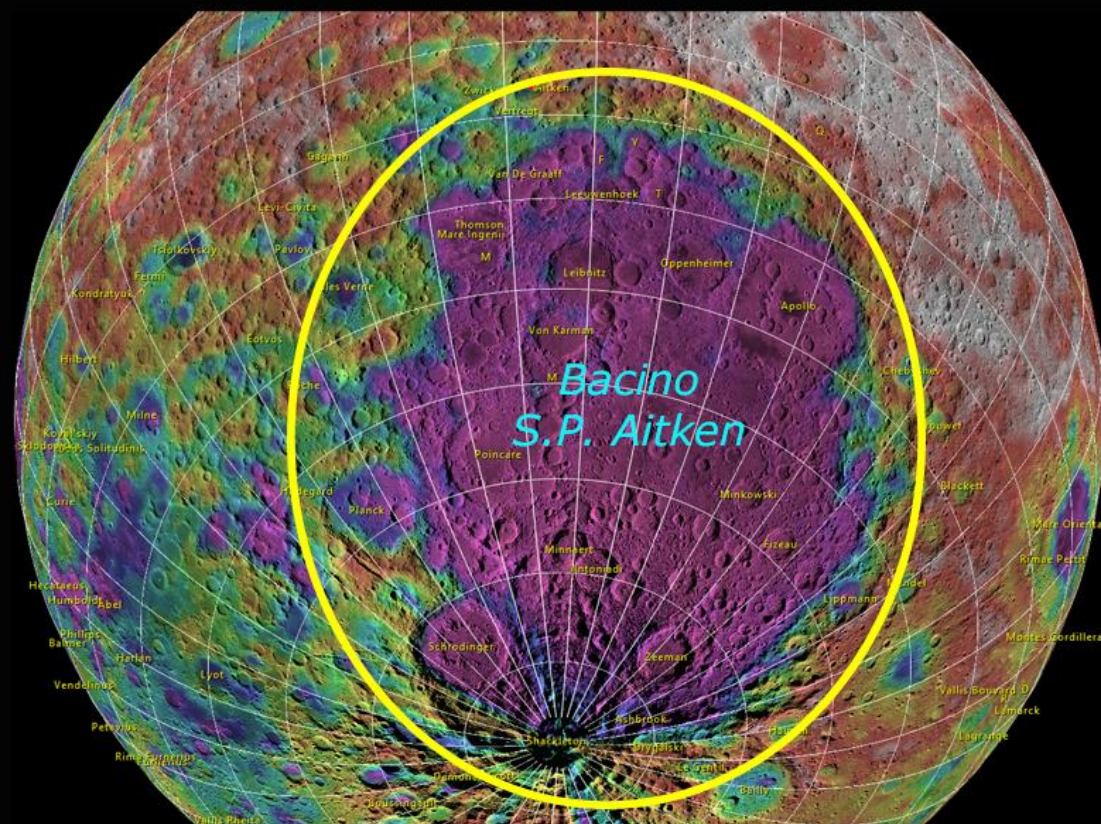
"South Pole Aitken Impact Basin"

Diametro 2500 km, profondità 13 km, esteso da Lat. 16°S fino al Polo Sud

Ad opera di un enorme corpo impattante avente dimensioni di circa 300-350 km. Questo impatto ha influenzato la distribuzione del calore e degli elementi all'interno della Luna, portando a differenze nella composizione e nell'attività geologica tra i due emisferi.

- Il gigantesco impatto all'origine del "Bacino Aitken" avrebbe innescato la migrazione di grandi quantità di materiali ricchi di TITANIO verso l'emisfero lunare rivolto al nostro pianeta.

- Solo successivamente, dopo solidificazione sopra a strati di roccia meno densi con conseguente instabilità gravitazionale, tale materiale è sprofondato nel mantello mescolandosi e tornando poi in superficie sotto forma di materiale lavico (Il cosiddetto "Ribaltamento").



Astronomica
Langrenus



La gobba
della Luna



The
end

The lunar's
hump

- Globi lunari e sovrainpressioni: Dal software "**VMA - Virtual Moon Atlas**, versione 8.2".
- Realizzazione grafica a cura di "**Astronomica Langrenus** (Cremona, Italy)