

Immagine  
selenocromatica (Si);  
tecnica L+C(IRcut);  
acquisizioni di  
Ottavio Zetta  
al 24mo giorno  
di lunazione;  
CCE Aldo Ferruggia

## ALLA SCOPERTA DI UN LONTANO PASSATO GEOLOGICO

# LA LUNA PARLA A COLORI

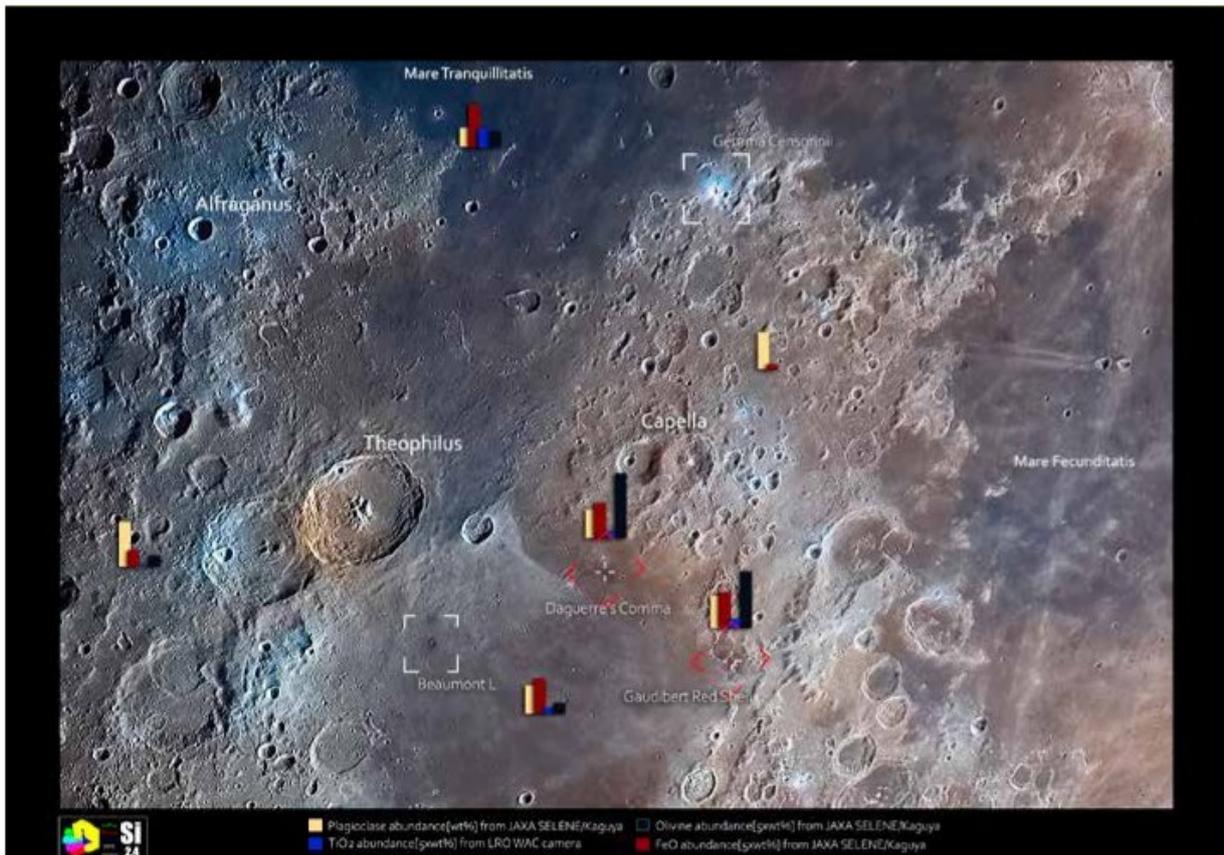
Aldo Ferruggia

Queste immagini straordinarie vi mostrano il nostro satellite come non lo avete mai visto: sono state ottenute con tecniche di "selenocromatica", l'affascinante studio della relazione tra i minerali della superficie lunare e la luce che riflettono. Una ricerca per iniziati? No, è alla portata di tutti gli astrofili

**D** alla Terra appare bianca e grigia, eppure ogni suo sasso ha uno specifico colore. Priva di atmosfera, la Luna da miliardi di anni subisce impatti di meteoriti più o meno grandi. Questo bombardamento ha profondamente modificato l'aspetto della sua crosta. Frammenti d'impatto di varia grandezza, anche grazie a una gravità 6 volte inferiore a quella terrestre, hanno ricoperto la sua intera superficie: è lo strato di breccia lunare, di colore neutro, spesso alcuni metri, prodotto dalla frammentazione e dal rimescolamento superficiale. Ma è possibile esaltare i contrasti tanto da rendere visibili i colori dei minerali prevalenti in una data zona senza creare artefatti. Si chiama "selenocromatica" la tecnica di *remote sensing* amatoriale che studia la relazione nel tempo tra i colori della crosta lunare e i minerali di cui è costituita. In selenocromatica si usano specifiche tecniche di acquisizione - L(DVF) + C(IRcut) - e metodiche di Esaltazione Cromatica Controllata - CCE - standardizzate. Grazie a questo rigore in selenocromatica si è in grado di associare minerali e colori, di analizzare colori complessi derivati ad esempio dal mixing orizzontale di

▼ 'Si' dei pressi di Mare Nectaris con alcuni 'reperi' selenocromatici; i grafici minerali dei reperi Gaudibert Red Shell e Daguerre's Comma si riferiscono ai depositi piroclastici al centro dei 'target' rossi. I valori di FeO, TiO<sub>2</sub> e Olivina sono stati aumentati cinque volte per renderli maggiormente apprezzabili. Luminanza ed elaborazione dati di A. Ferruggia, cromianza di O. Zetta

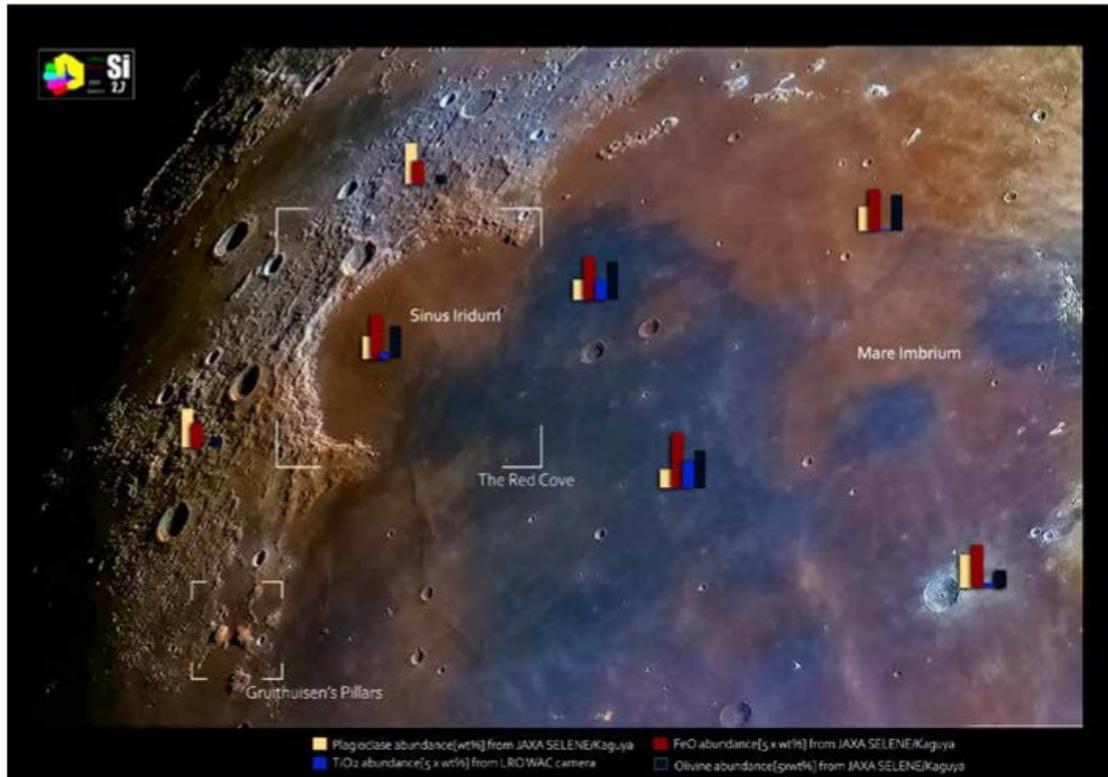
materiali che si rimescolano per contiguità (ejecta e raggieri), ma anche verticale, dal basso verso l'alto (microcraterizzazione con esposizione superficiale di materiali profondi di diverso cromatismo). Questo studio, che sfrutta l'esperienza della sottrazione cromatica (l'esempio più tipico è la generazione per miscelazione dei colori della pittura a olio partendo dai colori primari) permette di approdare a una conoscenza stratigrafica della crosta lunare. E poiché parlare di strati corrisponde a parlare di tempo, la selenocromatica permette anche lo studio della cronologia lunare. Ma sospendiamo per ora l'approfondimento della straticromatica lunare per ritornare al rapporto colore-minerali e ricordiamo che la composizione delle rocce non è l'unico fattore a determinare il colore lunare. L'**incidenza** della luce solare unita alla **curvatura** della sua superficie genera infatti distorsioni cromatiche non solo nelle zone scure e nelle aree fortemente riflettenti, ma anche nei pressi del terminatore e dell'orizzonte per schiacciamento prospettico. La cosiddetta maturazione del suolo lunare, poi, deriva dalla continua esposizione della crosta agli impatti, al



vento solare e all'ambiente riducente, tre fattori che conferiscono al suolo un colore più scuro. Ai fini della riproducibilità dei risultati delle nostre tecniche dobbiamo quindi tenere presente che le caratteristiche spettrali di riflettanza degli stessi minerali lunari purtroppo non sono costanti: così non ci si dovrà aspettare una resa cromatica univoca per un dato minerale/roccia/area, ma una "serie" di probabili colori in base all'incidenza della luce solare e allo 'space weathering'. Prima di passare ad analizzare la distribuzione dei colori sulla crosta lunare, facciamo notare che tutte le immagini di questo articolo sono ottenute con telescopi di 20 cm di diametro dello specchio primario, a dimostrazione della praticabilità delle tecniche selenocromatiche da parte dell'astrofilo medio. È utile suddividere i colori dei più comuni minerali lunari in base alla loro topografia. Il colore delle terre lunari o *highlands*, è un colore chiaro e neutro, vicino all'ocra proprio della roccia più comune delle pianure chiare, delle montagne, dei massicci e degli altopiani. Si tratta dell'anortosite ferrosa (FAN) che ha tra le sue caratteristiche quella di essere ricca di plagioclasio ricco di calcio. Il colore può virare al rosa, al grigio o

▼ immagine Selenocromatica di parte di Mare Imbrium con alcuni 'reperi' selenocromatici (quadrati); nei grafici dei minerali i valori di FeO, TiO<sub>2</sub> e Olivina sono stati aumentati cinque volte per renderli maggiormente apprezzabili. Immagine ed elaborazione dati di A. Ferruggia

all'arancione in caso di contaminazione dal basso (craterizzazione che riporta in superficie minerali colorati situati più in profondità) o a distanza (sovapposizione di frammenti da impatto). I Mari (o *Maria*) sono le aree più piatte e più scure della Luna in quanto i basalti di cui sono costituiti sono ricchi di olivina e soprattutto di ilmenite (FeTiO<sub>3</sub>). La grande variabilità di concentrazione del titanio nei basalti (dal 13 allo 0,5%) produce sfumature che vanno dal blu al rosso. Il contenuto di olivina di un'area influenza il suo inscurimento. Saranno quindi l'ilmenite ricca di titanio (sfumature viola, blu, verdi) o di ferro (marrone, rosso, arancione) a creare la gran parte dei contrasti cromatici della crosta lunare, comportandosi invece anortosite e olivina come agenti di chiaro/scuro. Alcune formazioni geo-cromatiche lunari sono tanto particolari da essere state riunite in un apposito atlante, l'Atlante Selenocromatico del GAWH, strumento che serve anche a calcolare lo score di affidabilità dei cromatismi delle immagini selenocromatiche (Si). Tali formazioni, individuate come 'reperi' nell'Atlante, spesso sono individuate con nomi fantasiosi. Gli Azure Haloed Craters (AHC) o ►



## Chrono-chromatic Map

The age of geologic structures is individuated by letters for selenochromatic 'eons'

(**P**: paleo; **M**: meso-; **N**: neo-chromatic) and colors for their geologic periods. So we can find

**P**: pre-Nectarian (4,5 <> 3,9 Ga);

**P**: Nectarian (3,9 <> 3,85 Ga);

**M**: Imbrian (3,85 <> 3,2 Ga);

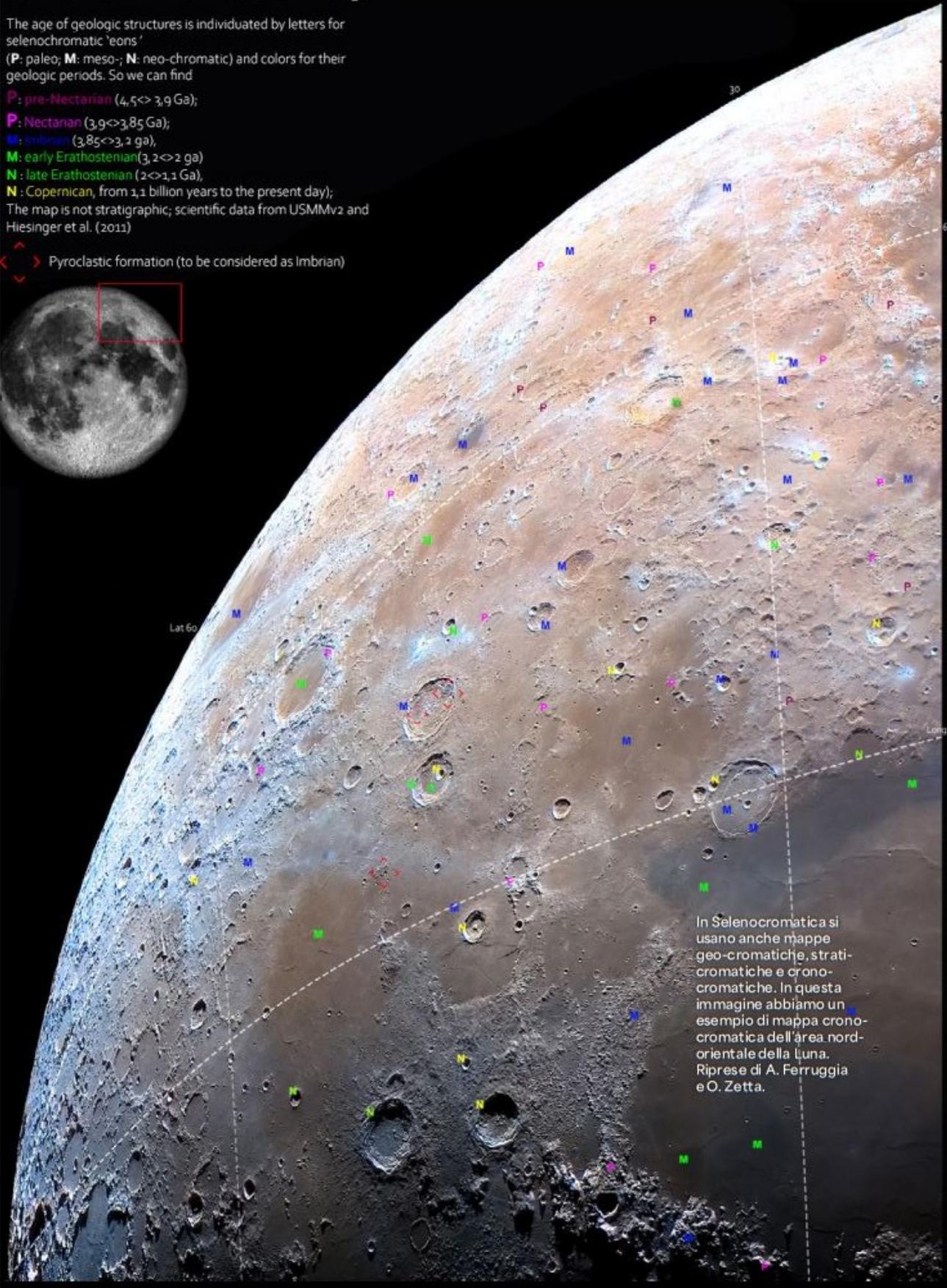
**M**: early Erathostenian (3,2 <> 2 Ga);

**N**: late Erathostenian (2 <> 1,1 Ga);

**N**: Copernican, from 1,1 billion years to the present day);

The map is not stratigraphic; scientific data from USMMv2 and Hiesinger et al. (2011)

 Pyroclastic formation (to be considered as Imbrian)



In Selenocromatica si usano anche mappe geo-cromatiche, strati-cromatiche e crono-cromatiche. In questa immagine abbiamo un esempio di mappa crono-cromatica dell'area nord-orientale della Luna. Riprese di A. Ferruggia e O. Zetta.



▲ FOTO 3: Immagine selenocromatica (Si) dell'area nei pressi del cratere Pythagoras con tre "reperi" selenocromatici di cui uno (segnalato dal quadrato rosso) di origine piroclastica (The Herschel Mufflers) con grafici minerali; i valori di FeO, TiO<sub>2</sub> e Olivina sono stati aumentati cinque volte per renderli maggiormente apprezzabili. Immagine ed elaborazione dati di A. Ferruggia



**Aldo Ferruggia**, medico, si interessa di archeologia e storia antica (Le guerre senza nome, Neos Edizioni). Appassionato di sperimentazione amatoriale, collabora con diverse testate di divulgazione astronomica.

Tali formazioni, individuate come "reperi" nell'Atlante, spesso sono individuate con nomi fantasiosi. Gli Azure Haloed Craters (AHC) o Azure Spots, sono "macchie celesti" (talora verde acqua) in aree delle *highlands*. Quasi sempre associate a elevata albedo (riflettività), derivano quasi tutte da aloni e raggiere d'impatto di giovani crateri, come l'alone azzurro intorno ad Alfraganus (Alfraganus Azure Crater, foto 1).

Le alte temperature dell'impatto hanno generato i cristalli azzurri tipici di queste raggiere che, in quanto tali, non sono state ancora degradate dallo *space weathering*. Quando i piccoli aloni azzurri si trovano in prossimità di strutture di diverso colore assumono il nome di gemmae, proprio per i gradevoli contrasti cromatici che determinano (ad esempio Gemma Censorinii, foto 1). Ma le raggiere e gli aloni d'impatto non sono tutti azzurri. Ce ne sono anche di scuri (di colore caldo o freddo): sono i cosiddetti "DHC" (Dark Halo Craters), crateri attorniti da un anello scuro che spicca in un contesto più chiaro e per questo se ne consiglia l'acquisizione in piena luce, lontano dal terminatore e dall'orizzonte lunare. Una parte minore origina da fenomeni piroclastici (tipo Alphonsus R), ma la maggioranza da impatti meteoritici che "pescano" in strati profondi scuri riportando in superficie tali materiali (ad esempio Copernicus H).

Una particolare e più rara variante di crateri colorati sono gli RHC (Red Halo Craters): talora nei mari il materiale riportato in superficie è più chiaro o di diverso colore rispetto a quello circostante. Ne derivano piccole raggiere che a mo' di macchie rossastre spezzano la monotonia delle grandi superfici piatte. Un esempio nitido è il "Beaumont L RHC" (foto 1).

Ci sono poi i Red Spots, formazioni geocromatiche costituite da magmi ricchi di silicio; si tratta di isolati promontori irregolari, caratterizzati da un colore che va dal rosa

all'arancione, fino al rosso mattone. Ne sono esempi Mons Hansteen (The Biscuit On the Coffee), i promontori detti "Gruithuisen's Pillars" (foto 2), il vulcano a scudo di Agatharchides 1 (The Red Helmet) e altri ancora. Ma il vulcanesimo lunare ha anche prodotto con attività esplosiva Dark Spots (o Lunar Pyroclastic Deposits, LPDs), aree scure a causa della presenza di un elevato tenore di Olivina e Pirossene. In generale hanno composizione simile a quella dei basalti maturi dei mari, a relativamente basso contenuto di ossidi di titanio. Le loro sfumature (arancione, viola, blu, verde, granato) sono dovute all'incidenza della luce, all'inecchiamento dei loro strati esposti e, soprattutto, alla chimica dei cristalli dei frammenti basaltici che li compongono: un eccesso di titanio farà virare il colore al blu/viola, alti livelli di ferro e titanio produrranno un marrone cupo, il rosso ci racconterà di alte concentrazioni di ossidi di ferro. Alcuni piccoli Dark Spots presentano materiali esposti con caratteristiche più simili a quelli delle *highlands* e in questo caso hanno maggiore albedo. Possiamo apprezzare, tra gli esempi di Dark Spots le formazioni sul fondo del cratere Alphonsus (Jaws Of Hell), quelle sul bordo del cratere Herschel (The Herschel Mafflers) e quelle di Mare Nectaris (foto 1 e 3).

*Ringraziamo per la collaborazione gli amici di Selenochromatics del Gruppo Astrofili William Herschel di Torino (<https://www.gawh.it/mair/selenocromatica/>) e invitiamo tutti gli interessati a contattarci. Stiamo ultimando il primo catalogo dei crateri con aloni colorato e stiamo mettendo a punto i criteri della campagna di rilevazione di nuovi "cryptomaria", antichi mari coperti da materiale eiettato da grandi impatti. La selenocromatica non è solo descrizione, ma anche esplorazione, e perciò ogni contributo è ben accetto.* 🌕