

Aldo Ferruggia



FOLIA SELENOCHROMATICA

VIII

"La scimmia guarda in uno specchio e vede una gazzella." ~ proverbio arabo

La procedura di analisi mostrata nei Folia precedenti è così approfondita da poter essere utilizzata anche per la composizione di articoli semi-professionali ma sicuramente non è di facile utilizzo. I 'selenocromatici' dovrebbero avere un approccio più rapido e semplice, qualcosa come un metodo 'a prima vista', quindi in questo *folium* cercheremo di impostare una relazione più ampia tra cronologia e colori, una delle sfide selenocromatiche più intriganti. La maggior parte delle tinte lunari sono contenute nelle aree dei mari, quindi è normale affrontare il nostro problema proprio partendo da questi basalti. Come sarebbe bello dire 'questo è rosso, quindi è vecchio; questo è blu e di conseguenza giovane'. La realtà non è sempre così chiara e dobbiamo iniziare a riassumere i principali eventi della storia della Luna per partire con il piede giusto. Conosciamo i cinque periodi geologici lunari, dal più giovane al più antico: copernicano, eratossteniano, imbriano, nectariano e pre-nectariano (aitkeniano).

| Geological Timing | | | Age (Ga) (billion of years) | Stratigraphic Units | Geological Events | Dynamics |
|-------------------|--------------------|------------------|--------------------------------|--|---|--|
| Eon | Period | Epoch | | | | |
| Neolunarian/NL | Copernican/C | | — 0.80 — | | Tycho, Aristarchus, Kepler Craters Copernicus Crater The radial rays of Copernican crater ejecta remain fresh, overlaying Eratosthenian craters | Mainly Exogenic action |
| | Eratosthenian/E | | — 2.00 — | | Delisle, Euler, Lambert Crater with degraded ejecta rays Small amount of mare basalts eruptions (mainly high-Ti)C Eratosthenes impact crater | |
| Paleolunarian/PL | Imbrian/I | Late Imbrian/I2 | — 3.16 — | | Massive flooding of mare basalts (mainly medium- to low-Ti) Four impact basins including Orientale basin Hevelius Formation | Both Endogenic and Exogenic action are very active |
| | | Early Imbrian/I1 | — 3.80 — | | Mare basalts and volcanoes Three impact basins including Imbrium basin Fra Mauro Formation | |
| Nectarian/N | | — 3.85 — | | Non-mare magmatism and cryptomare volcanism; 25 impact basins including Nectaris basin Janssen Formation | | |
| Aitkenian/A | | — 3.92 — | | Non-mare magmatism and cryptomare volcanism 49 impact basins including the SPA basin Das Formation | | |
| Eolunarian/EL | Magma-Oceanian /MO | | — 4.3 — | | Formation of the KREEP The evolution of the magma ocean and solidification of the anorthositic primordial lunar crust The formation of the Moon | Mainly Endogenic action |
| | | | — 4.52 — | | | |

Fig. 1: una classica scala crono-geologica lunare (modificata da [5])

Sebbene alcune attività effusive siano iniziate prima di 4 Ga (depositi di criptomare a bassissimo contenuto di Ti)[11][12], la maggior parte dei basalti marini si è formata durante il periodo imbriano intorno al 3,2–3,85 (primo picco) [2][8][10] continuando fino a 2,2–1,8 Ga nell'Oceanus Procellarum, in zona (secondo picco)[3], una regione con alta concentrazione di elementi prodotti dal calore[9]e, infine, piccole percentuali di basalto eruttarono fino a circa 1 Ga. Tornando alla Selenocromatica, abbiamo appreso che il rosso significa basalti ricchi di FeO e blu il loro alto contenuto in TiO₂. Ora la domanda è: possiamo trovare una relazione tra colori, tempo e spazio? Lasciatemi solo dire in anticipo che ci sono buone notizie e cattive notizie. Quella buona è che abbiamo raggiunto l'obiettivo di mettere in relazione Ti%, il colore e l'età dei basalti. La cattiva notizia è che non è possibile farlo ovunque.

Un mondo perfetto

C'è un luogo sul lato visibile della Luna dove possiamo affermare che i colori più caldi corrispondono al basalto più antico (mesocromatiche) e le tinte più fredde alle aree più giovani (neocromatiche). Inoltre, i dati confermano un progressivo arricchimento del basalto dei *maria* in TiO₂ (parallelo con un minore aumento di FeO, da lì la prevalenza blu!) contenuto nel tempo, almeno per i materiali esposti risalenti all'epoca tardo-imbriana e soprattutto per oltre 5 e 17% di contenuto di Ti rispettivamente; l'aumento si è verificato durante un periodo di tempo relativamente breve, vicino a 2,3 Ga (*blue shift*) [3]. E siamo anche in grado di correlare lembi di mari antichi con un colore neutro[4], quindi possiamo affermare che il rosso sbiadisce col tempo. Questo luogo fortunato corrisponde al PKT Procellarum Kreep Terrane (Mare Procellarum, Cognitum, Insularum) e, in buona parte, agli adiacenti Imbrium, Frigoris, Vaporum, Serenitatis, Humorum e Nubium [3][4][7].

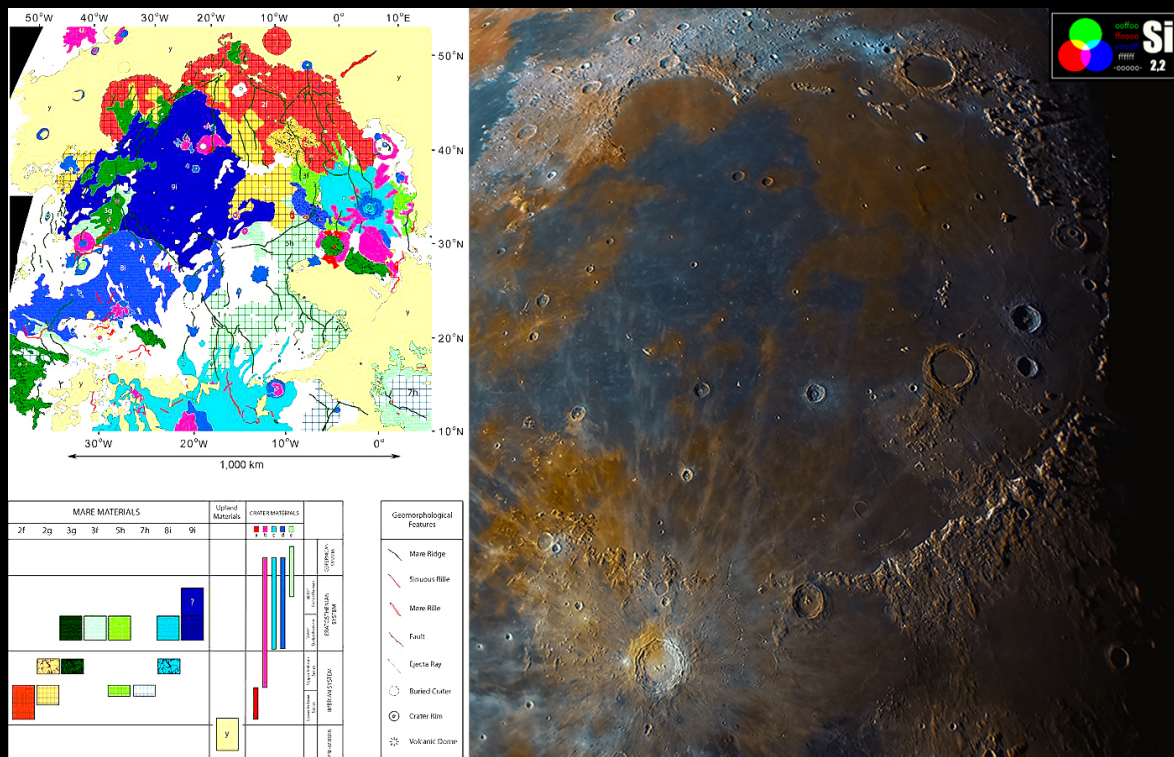


Fig. 2: Carta geomorfologica della regione del Mare Imbrium[3] e immagine selenocromatica di Serafino Vinco

Diversi studi quindi sostengono l'idea che il *'blue shift'* (il cambiamento di contenuto in TiO_2) del magma marino in PKT sia avvenuto intorno a 2,3 Ga. Il meccanismo sottostante esula dall'argomento che stiamo discutendo ma l'interessante per noi è che, esclusa la contaminazione dagli altopiani, prima di questo *cut off* troveremo solo aree calde e dopo vedremo solo basalti blu. È facile, fantastico!

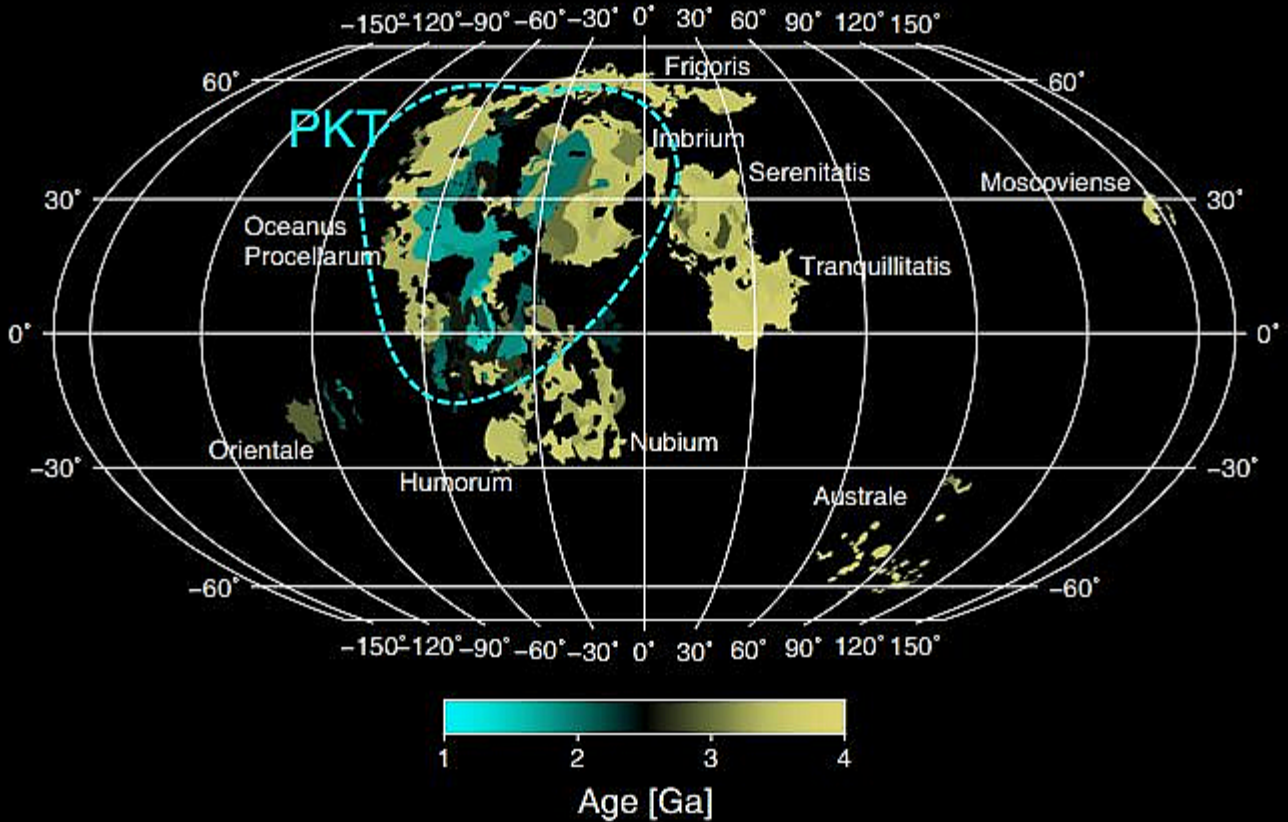


Fig. 3: Mappa globale del modello delle età delle unità di basalto marino; l'area evidenziata in celeste tratteggiato è l'area PKT. [2] ; le ellissi tratteggiate in rosso rappresentano le aree nella quali è applicabile la regola del *'blue shift'*, anche se con minore precisione. Ga= Giga anni = miliardi di anni

Dove il caos (sembra) ancora dominare

Sfortunatamente il contenuto di Ti delle unità dei *maria* al di fuori del PKT-Nubium dimostra il fallimento della relazione tra questo contenuto in % e l'età delle unità mare: anche quando le età dell'eruzione sono le stesse il contenuto di titanio cambia e così i colori.[2] E arriviamo alla stessa conclusione con la presenza di basalto blu più vecchio di 3.0 Ga. La situazione è ben spiegata dai basalti di Mare Tranquillitatis, dove possiamo trovare antiche unità ad alto contenuto di Ti accanto a unità più giovani ad alto contenuto di Ti e giovani basalti rossastri vicini a basalti caldi più vecchi, entrambi con la stessa tinta! Certo, queste tinte appaiono meno brillanti (rosse) e più scure (blu) di quelle in PKT-Nubium, a causa di un effetto di invecchiamento più intenso (l'età media dei *maria* è più alta nell'emisfero lunare occidentale [3][4][6]) ma questo non ci permette di datare questi basalti perché la nostra valutazione è talmente influenzata dalla variabilità dell'incidenza della luce solare e probabilmente, da una diversa origine geologica, spessore e stratigrafia (contaminazione verticale) da risultare semplicemente inaccettabilmente grossolana. La geologia ci concede di considerare con buona approssimazione imbriani i mari Tranquillitatis, Nectaris, Fecunditatis, Marginis, Temporis, Undarum e Australe. Soddisfatti dell'approssimazione? No?

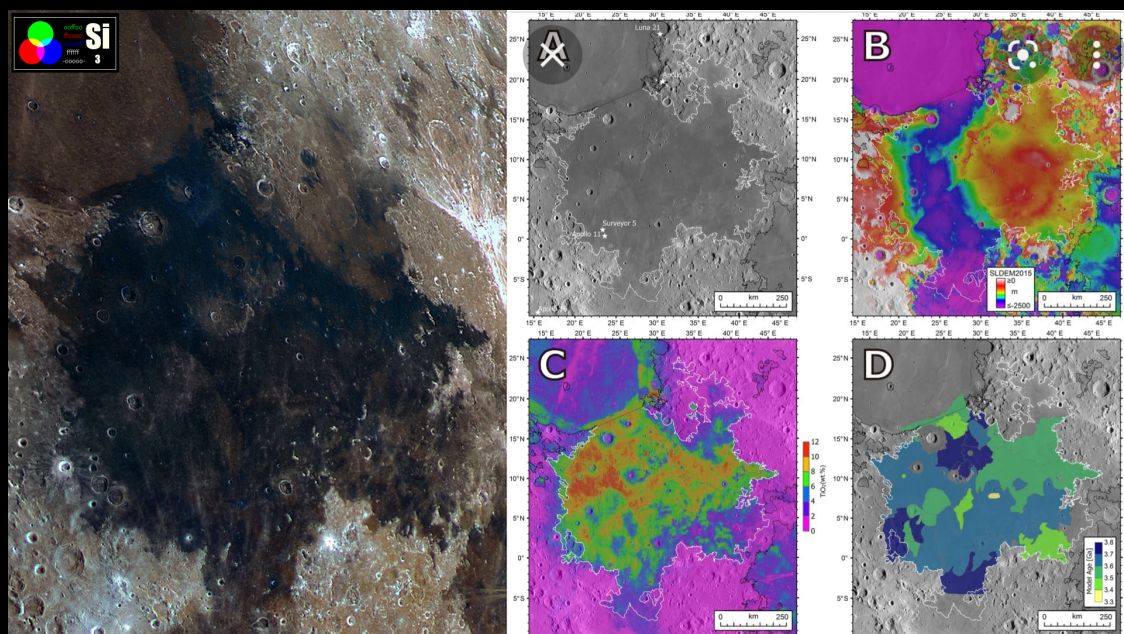


Fig. 4: Immagine 'Si' di Mare Tranquillitatis di S. Vinco e A. Ferruggia(CCE) a sinistra, remote-sensing data (B-C) e dati cronologici (D) a destra. [7]

Osservando più accuratamente la Fig.3 notiamo che la figura cronologica 'D' che mostra le età assolute delle unità fattrici non ci è utile: stiamo infatti cercando una struttura cromatica che divida il tempo alla stessa età (approssimativamente) dello 'blue shift' eratosteniano (2-2,3 Ga). Ora, è possibile che in futuro decideremo di superare i problemi esposti con la densità o l'invecchiamento dei crateri ma, fermo restando l'utilizzo dell'approccio in tre fasi spiegato nell'addendum precedente (analisi selenocromatica), ora vorrei sottolineare che in Selenocromatica dovremmo identificare anche un metodo guidato dal colore, anche se può apparire grossolano.



Fig. 5: principali crateri eratosteniani:
 Eratosthenes, Archytas
 Cavalerius, Seleucus,
 Manilius, Plinius
 Bullialdus, Aristoteles,
 Theophilus, Timocharis,
 Peirce, Langrenus, Picard,
 Cavalerius, Fracastorius

In altre parole, esiste un fenomeno simile al *blue shift* anche al di fuori dell'area PKT e Nubium? Sì, c'è, almeno per quanto riguarda i mari Tranquillitatis, Fecunditatis e Nectaris: ai loro bordi troviamo crateri eratosteniani con *ejecta* cromaticamente ancora rilevabili. Potrebbero quindi essere considerati crateri-guida in quanto sono i più antichi crateri colorati in grado di ricoprire aree più antiche. Nella figura D gli *ejecta* dei crateri eratosteniani non sono considerati a causa di una classificazione troppo antica (3,3-3,8 Ga) ma la loro presenza sul mare basaltico suddivide utilmente la *timeline* cromatica lunare in un pre- e in un post-evento e quindi ci permette di correlare colori e tempo (Fig.5). Riconsiderando l'immagine D, che a prima vista aveva suggerito un indecifrabile caos cromatico fuori da PKT ed aree limitrofe, ora ne possiamo ridimensionare l'importanza!

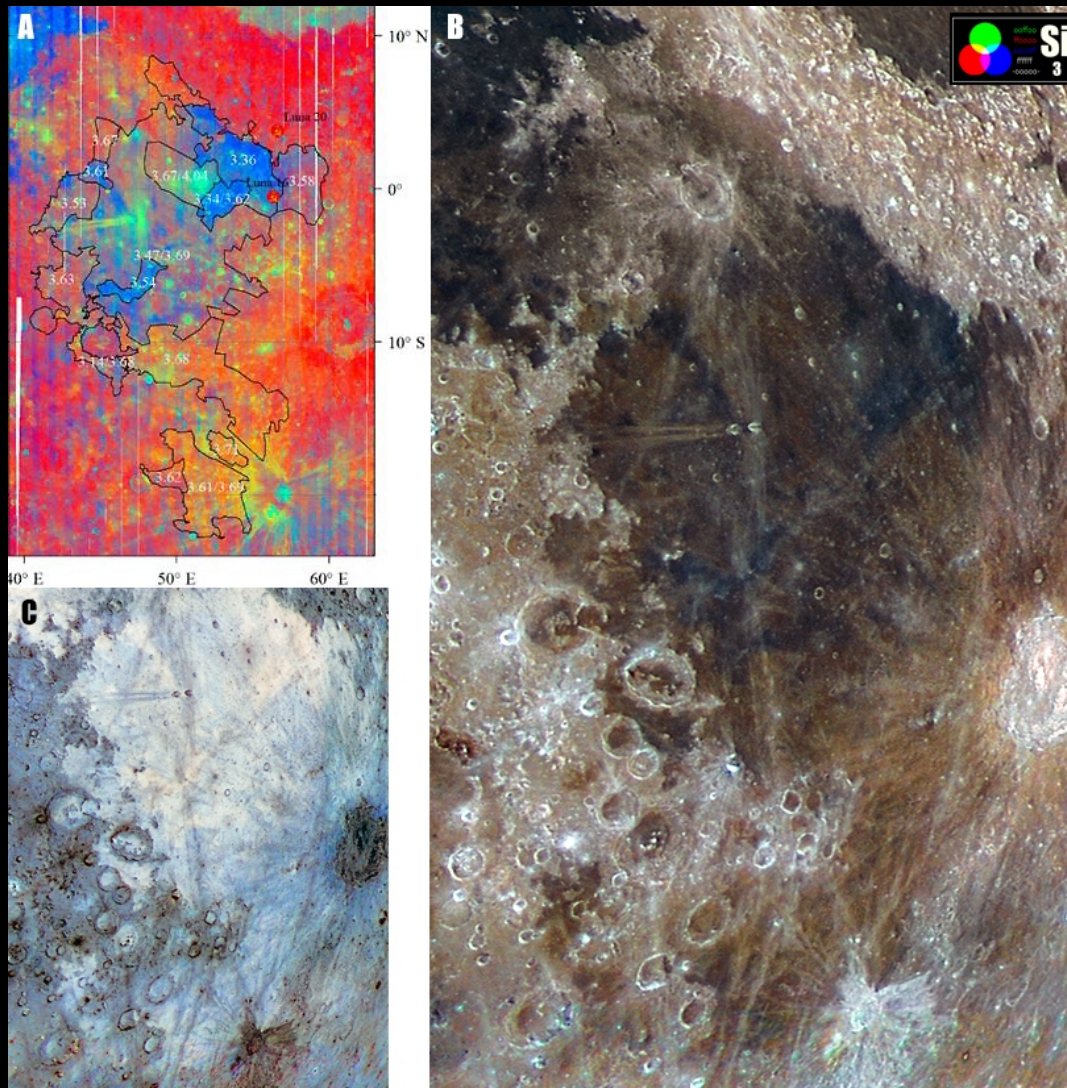


Fig. 6: A: modello cronologico di Mare Fecunditatis[14], B) S. VINCO-A. Immagine Si di Ferruggia, C: immagine negativa

Prendiamo ad esempio la superficie del Mare Fecunditatis (Fig. 6): sul bordo occidentale presenta il grande cratere eratossteniano Langrenus la cui raggiera ricopre gran parte dell'area basaltica. Rileviamo facilmente sfumature marroni che circondano l'asse dei raggi (utili immagini a colori invertiti). Questi colori sono *highlands* e fondono materiali degradati dal tempo con mescolanze di microcraterizzazione. Inoltre possiamo ragionevolmente considerare tutte le aree coperte dai raggi di Langrenus più vecchie di 3,1 Ga (un cratere eratossteniano primitivo potenzialmente ha 3,1 anni) e possiamo confermarlo[13]. Pertanto, le aree basaltiche colorate in grado di interrompere un raggio eratossteniano potrebbero essere considerate come eruzioni più giovani (aree più chiare in negativo)[14] o aree capaci di un più intenso degrado cromatico dell'ejecta (?).

Breve storia selenocromatica della Luna



Fig. 7: Si immagina dell'area di Teophilus; si notino gli ejecta del grande cratere neocromatico estese dal M. Nectaris al Mare Tranquillitatis su basalti mesocromatici; immagine di Serafino Vinco

Dopo tutte queste considerazioni torniamo a raccontare la nostra storia alla nonna (vi ricordate, la nonna di Einstein, no?) Ok, iniziamo. A parte le sfumature grigio-marroni originate dalla contaminazione da *criptomaria* (DHC inclusi), siamo consapevoli dell'assenza di importanti informazioni provenienti da un periodo precedente all'epoca imbriana. Possiamo chiamare questo lungo Eone Paleo-Cromatico (cromatico antico) (Fig.8). Dopo questo possiamo definire un altro lungo eone come Meso-Cromatico (cromatico del mezzo), dominato da enormi effusioni vulcaniche blu/rosse. Due eventi interrompono questo eone: il 'blue shift' ed i crateri eratossteniani, rispettivamente nell'emisfero orientale e occidentale. L'avvento dei più antichi crateri a raggi colorati coincide con la fine di questo eone e con l'inizio del Neo-Cromatico, 'nuovo cromatico', da 2,3 Ga ad oggi. A dire il vero fissando *ad hoc* questo *cut off* temporale facciamo una certa forzatura (l'età dei crateri eratossteniani va da 3,1 a 1,1 Ga nella *timeline* geologica) ma ricordando che il *target* selenocromatico è comprendere la Luna ne sottolineiamo un'altra volta il significato: quando arrivarono i crateri colorati quasi tutte le inondazioni di basalto erano già compiute nell'emisfero occidentale.

In questo periodo si osservano gli impatti più giovani, anche su strati copernicani: sono frequenti infatti gli Azure Bright Halo Craters (AHC) e Dark Halo Craters (blu o rosso o misti) su aree di *ejecta* recenti. Riassumendo, accade che il periodo nettariano 'divora' il pre-nettariano; il copernicano si allunga a "mangiare" il tardo eratosteniano; il tempo rimanente, prima del *cut off* del *blue shift*, è chiamato "cromatico di mezzo" (somma del periodo imbriano e del primo eratosteniano). Quindi rimangono solo tre eoni (invece di cinque periodi). È troppo difficile? Nonna! Nonna! Sssh, dorme profondamente. In ogni caso ne risulta una linea temporale colorimetrica semplificata, alternativa a quella geologica e questo, per ora, potrebbe bastarci. Sicuramente il tentativo di correlare colori e tempo non è completo ma possiamo sempre utilizzare il classico metodo di analisi per valutare le aree indecifrabili.

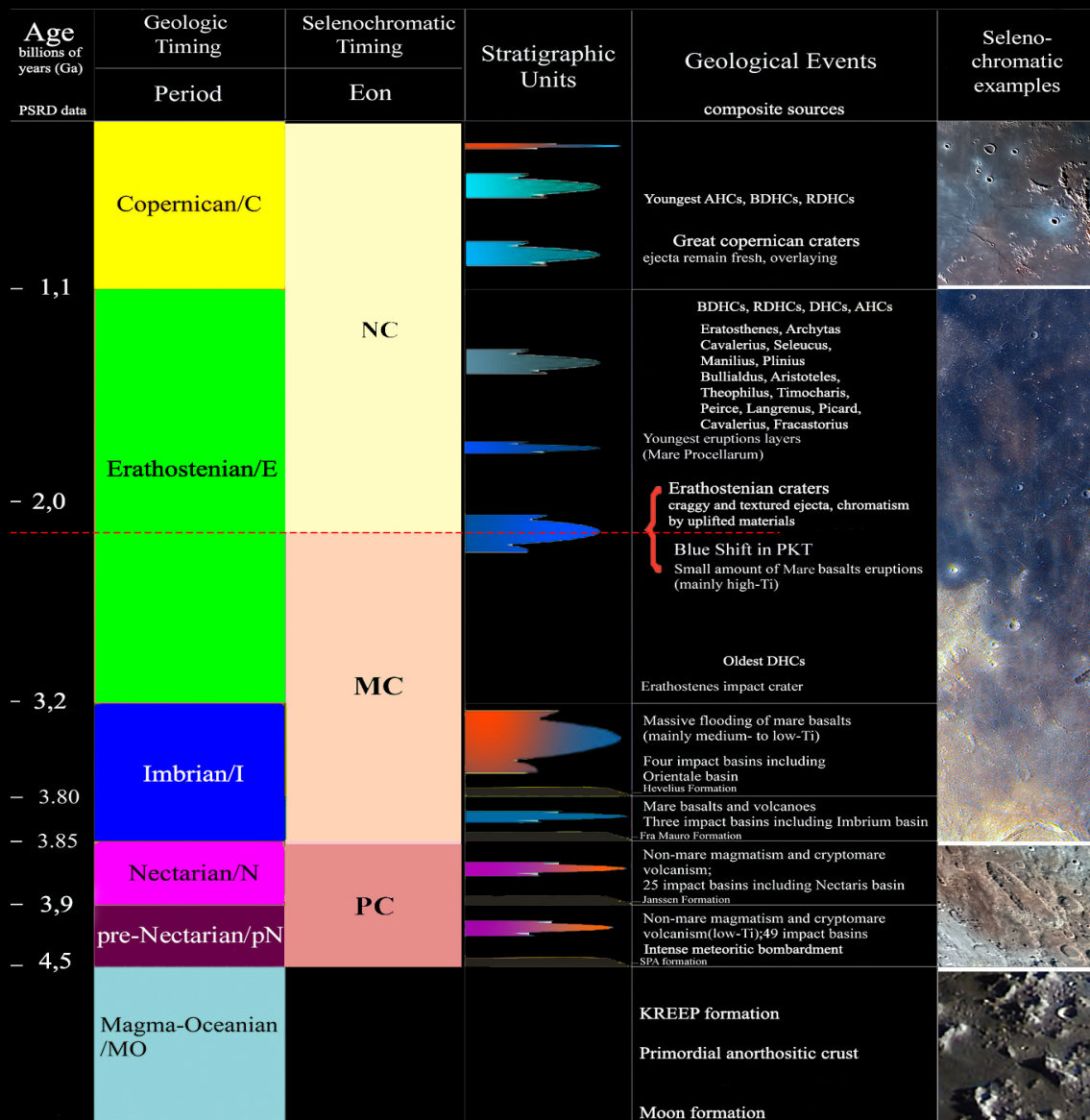


Fig. 8: Confronto tra scala temporale geologica e selenocromatica; si noti la semplificazione di tre eoni (somma di periodi) invece di cinque periodi e il cut-off di 2,3 Ga (linea rossa tratteggiata)

Finalmente vediamo alcuni eminenti punti di riferimento cromatici tipo "Theophilus il Rosso" come potenziali punti di riferimento cronologici anche se continuiamo ad essere assillati da cronico rischio di vedere troppe gazzelle.

BIBLIOGRAFIA

1. Hartzel S.-*An Examination of Mare Age Based On Cratering Density*, 2013
2. Kato S.-*Magma source transition of lunar mare volcanism at 2.3 Ga*, 2017
3. Bugiolacchi R.-*Compositional and temporal investigation of exposed lunar basalts in the Mare Imbrium region*, 2008
4. Bugiolacchi R.- *Lava Flows in Mare Nubium and Mare Cognitum: A Geological History Based on Analysis of Multispectral Data*, 2004
5. Ouyang Ziyuan-Chinese Academy of Science, from [The geologic map of the Moon](#), 2000
6. Hiesinger H.- *Ages and stratigraphy of mare basalts in Oceanus Procellarum, Mare Nubium, Mare Cognitum, and Mare Insularum*, 2003
7. Le Quiao, *Mare Domes in Mare Tranquillitatis: Identification, Characterization, and Implications for Their Origin*, 2021
8. Rothery D. A., Wilson L.- *Planetary Volcanism across the Solar System*, 2022
9. Morota T.-*Timing and characteristics of the latest mare eruption on the Moon*, 2011
10. Gaddis L. *et al.*- *Compositional analyses of lunar pyroclastic deposits*, 2003
11. Head J.W. *et al.*- *Lunar mare volcanism: stratigraphy, eruption conditions, and the evolution of secondary crusts*, 1992
12. Terada K. *et al.*- *Cryptomare magmatism 4.35 Gyr ago recorded in lunar meteorite Kalahari 009*, 2007
13. Hieseger H. *Et al.*, *New ages for basalts in Mare Fecunditatis based on crater size* -2006
14. Zhao S. *Et all.*- *Lunar Mare Fecunditatis: A Science-Rich Region and a Concept Mission for Long-Distance Exploration*-2022
15. Yun D. and Wenzhe F.- *Dating Radar Dark Halo Craters Based On Postimpact Gardening Process of Crater Ejecta*