

N: strato neocromatico
(da 2,3 Ga a oggi)
M: strato mesocromatico
(da 2,3 Ga a 3,85 Ga)
P: strato paleocromatico
(da 3,85 Ga a 4,3 Ga)
V: strato vulcanico/piroclastico

OGNI ERA LUNARE HA IL SUO COLORE

Aldo Ferruggia

Impariamo a leggere 4 miliardi di anni di storia geologica registrata nelle sfumature cromatiche del nostro satellite



Abbiamo dimostrato su «BBC Sky at Night» di giugno-luglio 2024 (numero 6) che ai colori della crosta lunare corrispondono specifici minerali. Forse la Selenocromatica può anche suggerire l'età di determinate formazioni geologiche del nostro satellite? Vedremo a breve come questo sia possibile e faremo visita ai basalti del Mare Nubium per esercitarci su di un'area colorata, un "selenocromotopo" (o semplicemente "cromotopo", dal greco *chromos*=colore e *topos*=luogo). Ma prima è necessario fissare qualche nozione di carattere generale.

Gli scienziati dividono la storia della Luna in cinque periodi geologici: dal più recente al più antico, si succedono il Copernicano, l'Eratosteniano, l'Imbriano, il Nectariano e il pre-Nectariano. Purtroppo tali periodi non sono utilizzabili in Selenocromatica, data la mancata corrispondenza tra tali limiti cronologici e la comparsa di determinati colori della crosta, colori che, si ribadisce, sono ottenuti in esaltazione cromatica controllata (Cce, come spiegato nel precedente articolo). Di conseguenza in Selenocromatica la classificazione viene semplificata in tre "eoni" fondendo il Nectariano con il pre-Nectariano, il basso Eratosteniano con l'Imbriano e il Copernicano con l'alto Eratosteniano (figura 2). La *ratio* che sta alla base di tale classificazione cronologica (leggi selenocromatiche) deriva dal raffronto tra colori in visuale-infrarosso con le datazioni della mappa geologica Uggmm (Unified Global Geological Map of the Moon) e all'associazione degli stessi colori con i minerali guida: conoscendo la relazione colore-minerale e scoprendo quella minerale-datazione, per la proprietà transitiva otterremo la relazione colore-datazione. Abbiamo così:

- Eone **Paleo-cromatico (P)**: da 3,85 a 4,3 miliardi di anni fa (d'ora in poi Ga, giga-anni). Dopo la formazione della Luna, l'oceano di magma che la costituiva iniziò a raffreddarsi in superficie e qui migrarono i materiali più leggeri, soprattutto il plagioclasio (anortosite) che formò la proto-crosta mentre i più pesanti, olivina e pirossene, affondarono nel mantello. Quindi la proto-crosta fu sottoposta a cataclismi da impatto (numerosi erano gli asteroidi che popolavano l'allora giovane sistema solare). Il risultato fu che l'emisfero visibile della crosta lunare sia meno spesso e che la cosiddetta area Pkt (Procellarum Kreep Terrane, figura 1) sia ricca di materiali rari provenienti da regioni profonde, cioè dal "mantello". Dai grandi impatti infatti, derivarono grandi bacini e attraverso le loro fessure risalirono i magmi effusivi dal mantello (pirossene e olivina) che si raccolsero sul fondo di essi. Quindi circa 4 miliardi di anni fa i primi contrasti, dall'ilmenite rossa (povera di

titanio) e blu (ricca di titanio) degli scuri basalti marini e all'albedo delle *highlands*, le antichissime *terrae*.

● Eone **Meso-cromatico (M)**: da 2,3 a 3,85 miliardi di anni Ga. Durante questo eone i grandi bacini d'impatto del paleo-cromatico vengono completamente riempiti dalla fuoriuscita di enormi quantità di magmi del mantello, ancora oggi all'origine della maggior parte dei colori della Luna. Si tratta del blu del Mare Tranquillitatis e della gran parte dei basalti rossastri dei mari Frigoris, Humororum, Crisium, Fecunditatis, Nectaris. Tali colori hanno avuto tutto il tempo di contaminare le strutture vicine con *ejecta* da craterizzazione (contaminazione orizzontale) e di contaminarsi a loro volta, anche perché spesso in questo eone abbiamo assistito a sovrapposizioni di basalti di diverso colore (contaminazione verticale) nelle medesime aree.

● Eone **Neo-cromatico (N)**: da 2,3 Ga a oggi. È dominato da colori vividi, dato che lo *space weathering* non ha ancora avuto il tempo di smorzarli; è caratterizzato da due principali eventi

► Immagine della parte meridionale di Oceanus Procellarum con formazioni vulcaniche (rosso cupo/arancioni) ed alcuni crateri neo-cromatici (aloni azzurri)

▼ Figura 1: in rosso l'area PKT



Leggi selenocromatiche

I: Colori guida. Il grigio/ocra dell'anortosite matura è tipico di aree antiche sottoposte a intenso rimaneggiamento, altopiani degradati e craterizzati paleo-cromatici; il blu (TiO₂) ed il rosso/marrone (FeO) dei basalti marini, l'azzurro delle raggere e aloni immaturi. Altri colori meno rappresentati derivano dal vulcanismo (legge V).

II: Maturità. I materiali esposti tendono ad inscurirsi ed a perdere vividezza col tempo, quindi le tinte nette provengono da evento recente: tutte le raggere colorate devono essere considerate immature, neo-cromatiche (N); lo stesso vale per i RDHC e BDHC

III: Contaminazione.

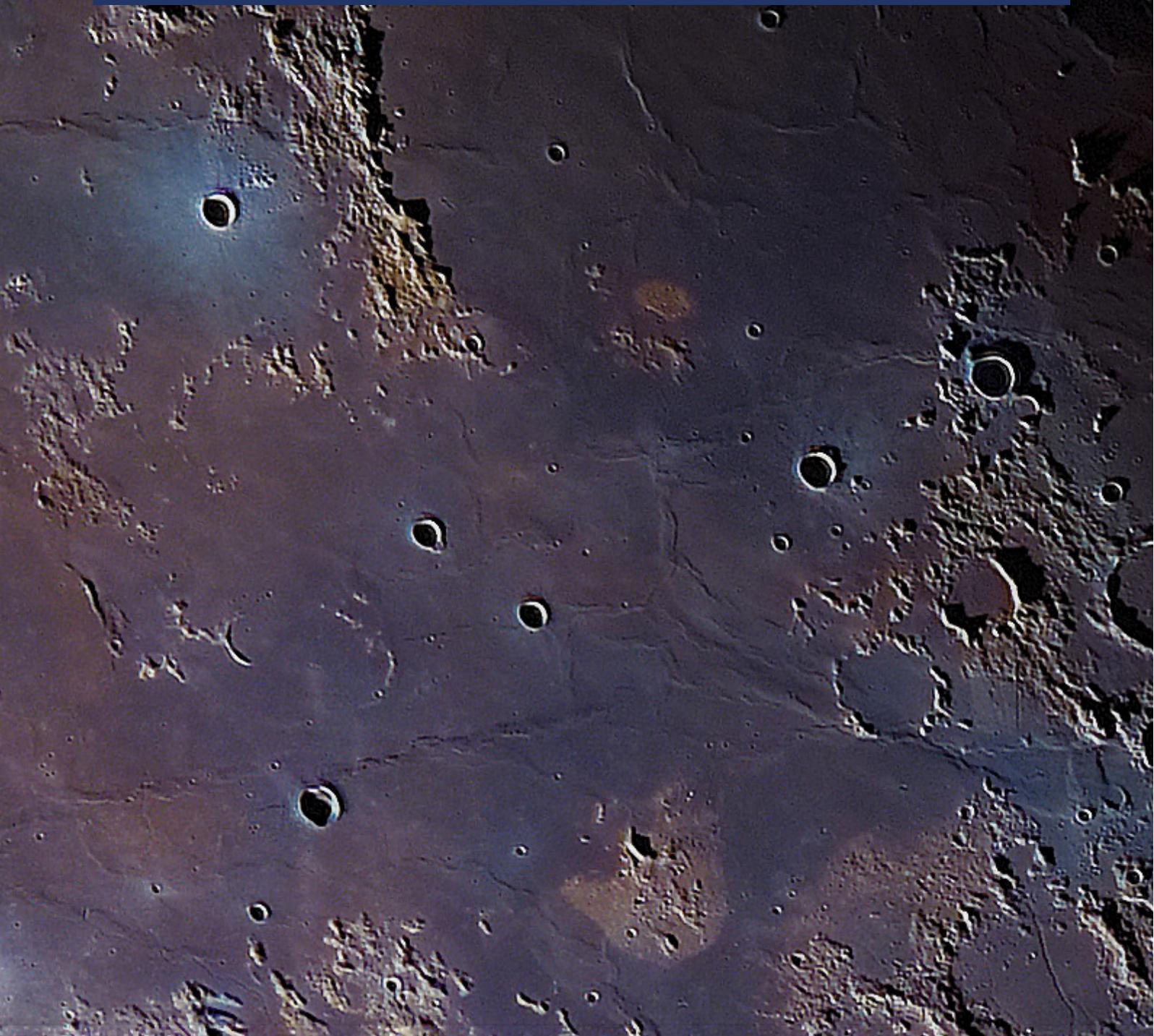
La craterizzazione è alla base del

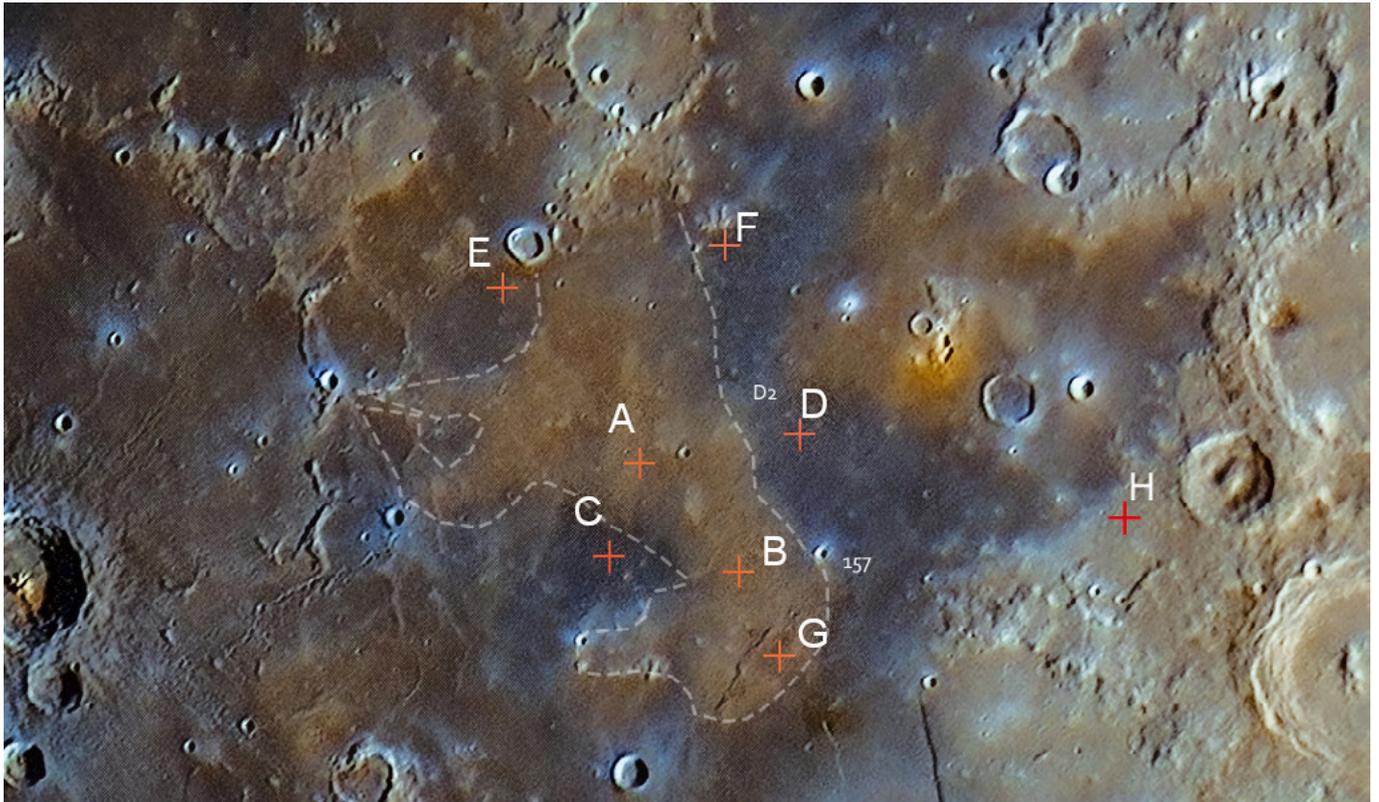
mescolamento dei colori guida in zone di contaminazione orizzontale e verticale; il colorito indistinto ocra frammisto a tinte sbiadite si ritrovano in strati piatti basso-imbriani (light plains) coprenti strati di criptomare più scuro (contaminazione verticale): sono strati meso-cromatici (M); stessa datazione vale per i DHC privi di colore prevalente alla CCE

IV: Mari PKT. In Mare Nubium, Serenitatis e nel Mare Frigoris orientale considerare il blu dei basalti esposti come neo-cromatico (N) ed il rosso come meso-cromatico (M). Mari extra PKT. I basalti marini al di fuori delle aree PKT possono essere ritenuti nel complesso meso-cromatici (M),

soprattutto se coperti dai raggi di crateri erasteniani; complessa è la valutazione di Mare Humorum e Tranquillitatis (verifica geo-cromatica obbligatoria); considerare meso-cromatici (tipicamente Imbriani) tutti gli strati "ripescati" da livelli sottostanti a quelli esposti, normalmente apprezzabili negli ejecta dei crateri medio-grossi o per modifica cromatica dal basso (micro-craterizzazione)

V: Vulcanismo. Gli strati esposti piroclastici (Lunar Pyroclastic Deposits) vanno dal giallo/arancione/marrone alle sfumature bluastre/violacee; alcuni 'domi' sono completamente neri; datazione in base alla tipologia.





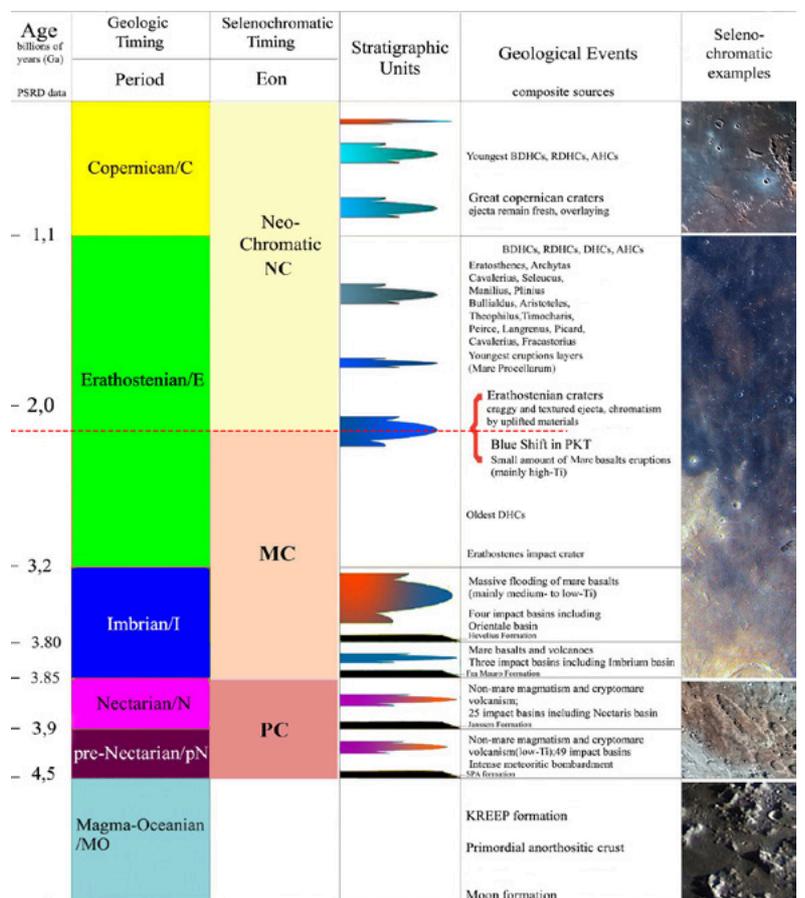
cromatici: la persistenza dei colori generati dagli impatti recenti e la comparsa degli ultimi magmi marini blu (il cosiddetto *blue shift*). In particolare, i crateri mostrano ancora cristalli celesti e azzurri generati dalle alte temperature d’impatto su minerali anortositici. Talora anche i singoli raggi di *ejecta* conservano tale tinta. Altre volte sono visibili strati diversamente colorati, estratti da strati profondi nell’impatto o generati dalla distruzione del meteorite coinvolto, ma sempre correlati alla formazione del cratere (colori propri). Quanto ai “mari”, tipico è il colore nitidamente blu delle più recenti eruzioni dell’emisfero orientale e di Oceanus Procellarum, Mare Imbrium, Mare Cognitum, Mare Nubium e Mare Serenitatis, proprio dove prima dominavano i basalti rossi meso-cromatici (M).

Ciò premesso, avventuriamoci a leggere in chiave selenocromatica un tratto di crosta lunare scelto come esempio, l’area del cosiddetto “Nubium Pony”: si tratta di un nome di fantasia perché, come spesso succede, le formazioni geologiche colorate della costa lunare, i cromotopi appunto, richiamano alla mente forme e oggetti proprio come succede con nebulose e costellazioni. Si noti infine che tale cromotopo è anche un “reper selenocromatico”, cioè un riferimento cromatico utile a valutare l’affidabilità dei colori ottenuti da quell’area della Luna.

Il cromotopo che prenderemo in esame è abbastanza esteso (perimetro di circa 680 km e un’area di poco più di 31.000 km quadrati) e situato nel contesto di Mare Nubium, delimitato

▼ Figura 2: raffronto tra periodi del tempo geologico lunare (seconda colonna) ed eoni selenocromatici (terza colonna)

▲ Figura 3: la sagoma tratteggiata del “Nubium Pony” con la selezione di punti sonda in rosso; il nord è in alto



Probe points		A (-17.41, 346.82)	B (-18.71, 348.61)	C (-18.82, 346.64)	D (-16.64, 349.14)	E (-15.37, 344.42)	F (-14.15, 347.55)	G (-19.71, 349.38)	H (-16.61, 354.43)
M i n e r a l s	Plagioclase	49	43	30	35	37	37	47	71
	FeO [w%]	15.0	15.8	19.8	17.3	17.7	18.3	15.5	9.2
	TO ₂ [w%]	2.7	2.3	8.4	4.7	4.7	7.2	1.1	0
	Olivine [%]	10.2	10.8	14	6.3	12.2	12.6	10.6	2.9
	Pyroxenes [%]	40.8	45.6	56	58.5	56.7	50.4	43.1	26.1

a nord dal cratere Guericke B, a sud dal cratere Nicollet, a ovest dai crateri Gould e Opelt e a est dal Promontorium Taenarium. Il cromotopo è centrato in latitudine -17,30 e longitudine 346,77. Consiste di un'area di colore caldo (arancio/rossastra) delimitata da aree più scure bluastre. Lavorando un po' d'immaginazione la sua forma ricorda la figura di tronco testa e collo di un cavallino, con testa (il muso è poco rosso ma appare armonizzarsi con la figura nel suo complesso per la disposizione di alcuni crateri e promontori), e gambe anteriori tozze; un "pony" insomma, ma sottosopra, (con testa verso il sud lunare).

Lettura selenocromatica: trovandoci in area marina PKT-correlata (figura 3) dovremo applicare le leggi I e IV: le aree basaltiche rossastre, cioè il corpo e testa del cavallino, le etichettiamo come M, datandole da 2,3 Ga a 3,85 Ga, mentre quelle bluastre vanno considerate più giovani, neo-cromatiche (N) quindi più giovani di 2,3 Ga. Alcuni crateri azzurri e albedici (biancheggianti) (AHC) che esulano dal nostro attuale interesse possono lo stesso essere considerati più giovani di 2,3 (legge I-II) e quindi N, mentre uno spot arancione sulla destra del 'pony' evoca strutture V, vulcaniche (legge V). Sono visibili in periferia dell'immagine delle *terrae*, le *highlands* color ocra che dobbiamo etichettare grossolanamente come P, più vecchie di 3,85 Ga (legge I). Nel "muso" del cavallino alcuni promontori ocra, e quindi paleocromatici (legge I), vengono isolati dal contesto circostante da basalti P.

In sostanza la Selenocromatica suggerisce che questa parte della crosta di cui le *terrae* sono parti vestigiali fu colpita da un meteorite prima di 3,86 Ga e l'impatto creò il bacino di Mare Nubium. Col tempo il bacino venne riempito da basalti poveri di Ti più vecchi di 2,3 Ga che furono

ricoperti e affiancati da altri ricchi di Ti e quindi bluastri più giovani di tale epoca. Infine arrivarono i giovanissimi AHC (meno di 1,1 Ga) etichettati N.

Verifica. In Uggmm l'area del corpo del "pony" è datata come alto-imbriano (M), mentre le circostanti aree marine bluastre sono erosteniane (N). Le *terrae* risalgono a periodi compatibili con l'èone paleo-cromatico (P): la datazione indubbiamente funziona. Ma facciamo anche una verifica sui minerali analizzando otto punti-sonda (vedi tabella): Plagioclasio per le *terrae*, ossido di Ferro, bi-ossido di titanio, olivina e pirossene per i basalti marini. Constatiamo che l'unico punto-sonda delle *highlands* (H) il plagioclasio è preponderante rispetto a pirossene e olivina, proprio come ci aspettiamo. Il contrario avviene nei punti sonda "marini" a eccezione del punto A nel quale c'è una commistione tra minerali basaltici e plagioclasio. Circa i valori di FeO, essi appaiono abbastanza costanti nei sette punti "marini", cosa che dimostra come non sia questo il minerale decisivo per le sfumature basaltiche. Appare evidente invece come l'eccesso di titanio e, in particolare il biossido di titanio, produca il "viraggio" dei basalti dal rosso al blu, giustificando da solo i colori che danno forma al cromotopo. Nel contesto delle aree blu (C, E ed F) poi, si assiste nei basalti a una maggiore presenza di olivina fatto suggestivo di origine più profonda dei basalti. Anche qui alti valori di FeO non producono scivolamento verso il rosso se associati ad alti livelli di TiO₂. Nel complesso, come volevasi dimostrare, l'orologio (o calendario) della Luna è colorato. 🌕

Per maggiori dettagli si consulti la pagina Selenocromatica del sito www.gawh.it o si contatti il gruppo all'indirizzo info@gawh.net.

▲ Tabella dati di *remote sensing*, in particolare quelli dell'ossido di Fe, del plagioclasio, dell'olivina e del pirossene dalla missione JAXA SELENE/Kaguya, quelli della TiO₂ dalla WAC LRO Camera. Campionamento dei punti sonda: 30m²/pixel. Le coordinate selenografiche sono calcolate rispetto all'equatore e al meridiano centrale (quest'ultima su 360°).