

Giancarlo Favero

Il caso Linné: sulla forma dei craterini lunari visti a differenti altezze del Sole

Sezione Luna - UAI - Osservatorio Guido Ruggieri, Padova - luna@uai.it

Articolo già apparso sul *Journal of the Association of Lunar and Planetary Observers* (JALPO), Volume 42, anno 2000, fascicolo 4, pagine 186-190. Tradotto con il permesso dell'ALPO e leggermente modificato.

Abstract

Lunar craterlets with diameters near the resolving power of an atmosphere-instrument-detector system look like hills, if illuminated by a grazing Sun, and reveal their shape only under a higher Sun. The phenomenon is explained in terms of convolution of the subject image with the finite dimensions of the single element of a discrete detector: the pixel, in a CCD image; the silver grain, in a photographic emulsion; the retinal cone cell, in a visual observation. The controversy about the different shapes attributed to craterlets like Linné by previous visual observers can thus be resolved. On this basis it appears reasonable to suggest that no physical changes affected Linné during the era of telescopic visual observations.

Introduzione

Tra i molti siti lunari dove differenti osservatori del passato hanno detto di aver visto variazioni di forma o di riflettività, Linné è certamente uno dei più noti. Wilkins e Moore nel 1961 [1] e più recentemente l'organizzazione *The Lunascan Project* [2] hanno ricordato la storia dei differenti aspetti e dei relativi mutamenti attribuiti a Linné fra il 1843 e il 1953.

Nel 1843 W. Lohrmann, con un telescopio da 108 mm, e W. Beer e J. H. von Mädler, con un 95 mm, descrissero Linné come un cratere di 8 km di diametro, ben visibile in tutte le condizioni di illuminazione. Tra il 1840 e il 1843 pure J. Schmidt, con un riflettore da 178 mm, aveva registrato Linné come cratere (in 8 disegni su 11), ma nel 1866 egli annunciò che questa descrizione non corrispondeva più alla realtà, e che tutto ciò che gli riusciva di vedere era un rilievo biancastro. Durante il 1867 altri osservatori poterono vedere solo un rilievo. Alla fine di quell'anno,

Schmidt annunciò che era riuscito a scorgere una montagna al centro del rilievo. Durante il 1868 Padre A. Secchi e altri osservatori scoprirono una leggerissima depressione entro l'area bianca contenente un minuscolo cratere, di neppure 1 km di diametro. Più tardi Huggins misurò il suo diametro in 3 km. Attorno al 1897 H. Corder e W. Goodacre, l'ultimo usando un riflettore da 457 mm, disegnarono Linné come un cono craterico che mostrava variazioni di dimensioni dell'orificio centrale. Nel 1951 F. H. Thornton, anche lui con un riflettore da 457 mm, trovò che Linné appariva come un basso rilievo sulla cima del quale vi era un profondo craterino, pieno di ombra col Sole basso. Quando la leggera ombra del rilievo scompariva, grazie all'aumento dell'altezza del Sole, il craterino sommitale conservava ancora ombra, la quale scompariva in seguito. L'area chiara che circondava Linné appariva come qualcosa proiettato in tutte le direzioni quando il craterino si era formato. Questa descrizione fu completamente confermata da Wilkins e Moore nel 1953, usando il riflettore da 830 mm di Meudon.

Per appurare se i differenti aspetti descritti possono essere ascritti a un'unica realtà fisica, anche se di natura complessa, o se essi sono così inconciliabili da implicare cambiamenti fisici significativi, nel gennaio del 1999 l'autore ha ripreso Linné e i suoi dintorni sotto differenti condizioni di illuminazione usando una camera CCD su un riflettore da 356 mm.

Strumenti e misure

È stata impiegata una camera CCD PXL 211 dotata del sensore TC-211 con 192×165 pixel di forma rettangolare, di lati 13.75 μm × 16.00 μm . La camera è stata collegata a un riflettore Newton di 356 mm di diametro, con lo specchio

Tabella 1. Date e tempi di ripresa delle quattro immagini scelte per le misure, coordinate rettangolari* delle caratteristiche misurate e relativi parametri del Sole**.

Data	TU	Caratteristica	ξ	η	H(°)	A(°)	C(°)
23 gennaio 1999	18h 01m	Linné	+0.181	+0.465	0.94	89.88	348.98
23 gennaio 1999	18h 01m	Linné A	+0.218	+0.483	3.21	91.96	348.98
23 gennaio 1999	18h 01m	Linné B	+0.211	+0.508	3.01	91.15	348.98
23 gennaio 1999	18h 18m	Linné			1.06	89.95	349.12
23 gennaio 1999	18h 18m	Linné A			3.34	91.23	349.12
23 gennaio 1999	18h 18m	Linné B			3.13	91.22	349.12
24 gennaio 1999	17h 26m	Linné			11.42	95.49	000.84
24 gennaio 1999	17h 28m	Linné			11.43	95.50	000.86

* ξ (xi) e η (eta) sono le coordinate rettangolari nella proiezione ortografica a librazione media, misurate in unità di raggio lunare, con xi misurato positivamente verso est (IAU, Mare Crisium) ed eta positivo verso nord.

** H è l'altezza del Sole, A l'azimut del Sole, C è la colongitudine (longitudine del terminatore al sorgere del Sole).



Tabella 2. Diametro, lunghezza dell'ombra (in pixel e in chilometri) e altezza (in metri) sul suolo circostante della cinta di Linné, visto come collina, e dei crateri Linné A e B.

Data	TU	Caratteristica	Diametro		Lungh. ombra		Altezza m
			pixel	km	pixel	km	
23 gennaio 1999	18h 01m	Linné collina	8	5.5	12	8.3	120
23 gennaio 1999	18h 01m	Linné A	6	4.1	8	5.5	300
23 gennaio 1999	18h 01m	Linné B	7	4.8	10	6.9	350
23 gennaio 1999	18h 18m	Linné collina	8	5.5	12	8.3	130
23 gennaio 1999	18h 18m	Linné A	6	4.1	7	4.8	270
23 gennaio 1999	18h 18m	Linné B	7	4.8	10	6.9	390

Tabella 3. Diametro in pixel e in chilometri di Linné, visto come cratere, e del suo alone chiaro.

Data	TU	Caratteristica	Diam. cratere		Diam. alone	
			pixel	km	pixel	km
24 gennaio 1999	17h 26m	Linné cratere	4	2.8	9	6.2
24 gennaio 1999	17h 28m	Linné cratere	4	2.8	9	6.2

corretto a $\lambda/14$ e un secondario avente asse minore di 51 mm. La lunghezza focale originale (2 m) è stata allungata a circa 6 m con una Barlow 3X Tele Vue. Decine di immagini sono state registrate il 23 e il 24 gennaio 1999 attraverso un filtro rosso (Schott RG9, 2 mm di spessore) e impiegando un otturatore manuale (esposizione circa 0.01 s).

Le due migliori immagini ottenute in ciascuna sessione sono state corrette per i pixel rettangolari e trattate con due maschere sfuocate di 2x2 e 3x3 pixel. Alla fine le quattro immagini sono state ruotate sul monitor in modo che le ombre si sviluppavano in orizzontale, lungo le righe dei pixel. Su queste immagini sono stati misurati, in pixel, il diametro di Linné e del suo alone chiaro e la lunghezza della sua ombra. Sono stati misurati anche i diametri dei crateri Linné A e Linné B e le lunghezze delle loro ombre.

Dai valori in pixel dei diametri di Linné A e Linné B e dalla conoscenza dei loro diametri reali (4.0 e 5.0 km rispettivamente) è stata ottenuta la scala delle immagini (0.7 km per pixel in ciascuna seduta osservativa) che ha permesso di esprimere in chilometri sia i diametri, sia le lunghezze delle ombre delle caratteristiche studiate. Per ciascuna immagine sono stati calcolati l'altezza locale del Sole (H), l'azimut locale del Sole (A) e la sua colongitudine (C) mediante il programma *Lunar Observer's Tool Kit*. Dalla lunghezza delle ombre e dall'altezza locale del Sole, mediante lo stesso programma sono state calcolate le altezze delle caratteristiche che gettavano quelle ombre. Le tabelle 1-3 raccolgono le misure così ottenute.

Risultati

Il 23 gennaio 1999, con un'altezza del Sole di circa 1° (figure 1a e 1b), Linné appariva come una collina avente 5.5 ± 0.7 km di diametro alla base, che gettava un'ombra lunga 8.3 ± 0.7 km. Da questi dati è stata stimata un'altezza della collina pari a 125 ± 15 m, da confrontare con la vera altezza della cinta del cratere pari a 125 m [3]. In figura 1 appaiono altre formazioni collinari, simili a Linné, indicate con i numeri 1, 2, 3. Le lettere a e b indicano, rispettivamente, i crateri Linné A e Linné B, le cui pareti sono state stimate alte circa 285 ± 25 m e 370 ± 30 m, rispettivamente.

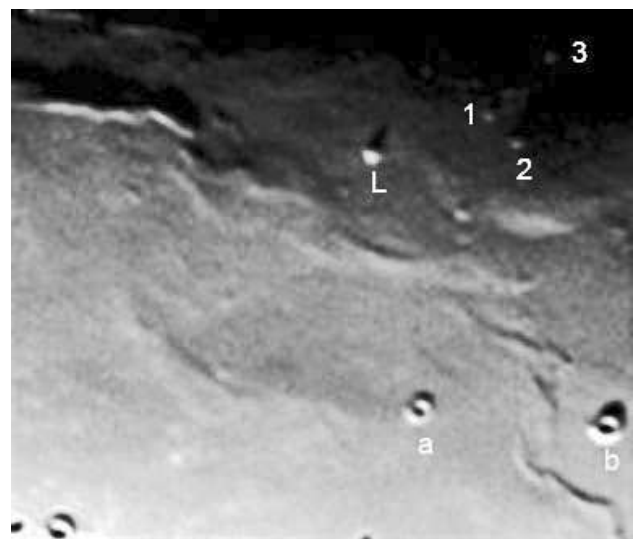


Figura 1a. Linné (L), le formazioni 1, 2, 3 e i crateri Linné A (a) e Linné B (b) ripresi alle 18h 01m TU del 23 gennaio 1999.

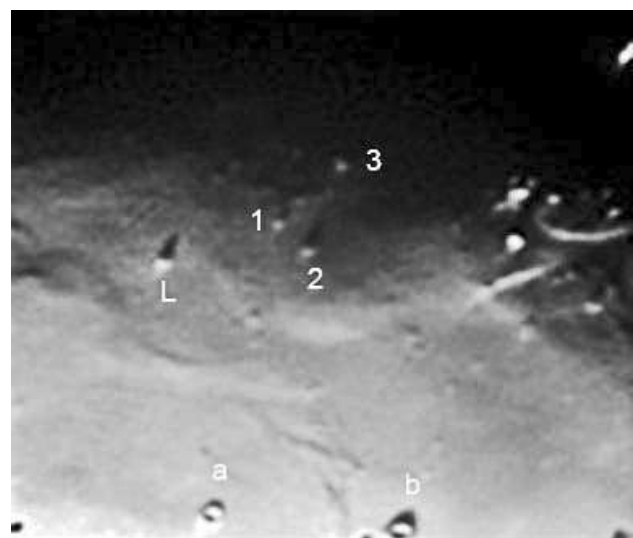


Figura 1b. Linné (L), le formazioni 1, 2, 3 e i crateri Linné A (a) e Linné B (b) ripresi alle 18h 18m TU del 23 gennaio 1999. A destra del centro si vede il domo denominato Valentine.

Il 24 gennaio 1999, con un'altezza del Sole di circa 11° (figure 2a e 2b), Linné appariva come un cratere del diametro

di 2.8 ± 0.7 km, riempito d'ombra e circondato da un alone chiaro di diametro 6.2 ± 0.7 km. Nella stessa immagine, anche le formazioni indicate in figura 1 con i numeri 1, 2, 3 rivelavano di essere crateri, con diametri rispettivamente minore, uguale e maggiore di quello di Linné, ma non mostravano aloni chiari. Il diametro di 6.2 ± 0.7 km dell'alone chiaro di Linné nelle figure 2 è indistinguibile da quello di 5.5 ± 0.7 km stimato per la base di Linné-collina nelle figure 1. Si può concludere che l'alone chiaro è associato a un rilievo di circa 6 km di diametro visibile in qualsiasi condizione di illuminazione, anche quando il cratere non è distinguibile.

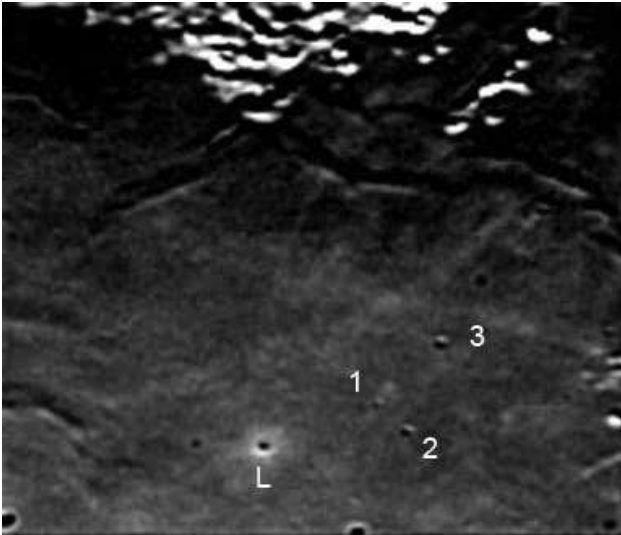


Figura 2a. I crateri Linné (L) e 1, 2, 3 ripresi alle 17h 26m TU del 24 gennaio 1999.

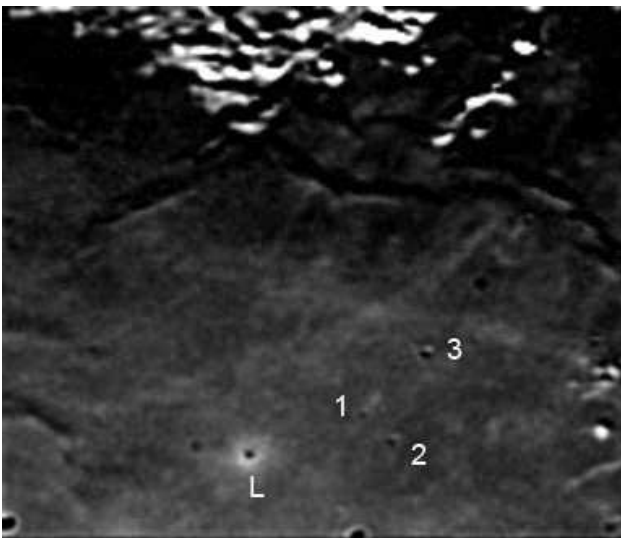


Figura 2b. I crateri Linné (L) e 1, 2, 3 ripresi alle 17h 28m TU del 24 gennaio 1999.

In una foto ripresa dall'equipaggio di Apollo 15 (figura 3), Linné appare come un cratere recente, di 2.5 km di diametro, profondo 600 m, con una cinta elevata di 125 m sulla superficie del Mare Serenitatis, circondato da un alone di *ejecta* chiare largo oltre 3 km, per un diametro complessivo della struttura di circa 8 km [3]. Questi dati confermano la conclusione appena presentata.

I differenti aspetti di Linné descritti nel passato, quelli registrati da Apollo 15 nel 1971 e dall'autore nel gennaio 1999,

possono quindi essere riassunti come segue:

[a] profondo cratere di 8 km di diametro (1843);

[b] chiazza chiara (dal 1866 al 1999) del diametro di 6-8 km (1971, 1999)

[c] craterino o cono craterico (dal 1867 al 1999) di diametro 2.5 km (1971, 1999)

[d] bassa collina con un diametro alla base di circa 6 km (dal 1897 al 1999) e con in cima un cono craterico (1951, 1953).

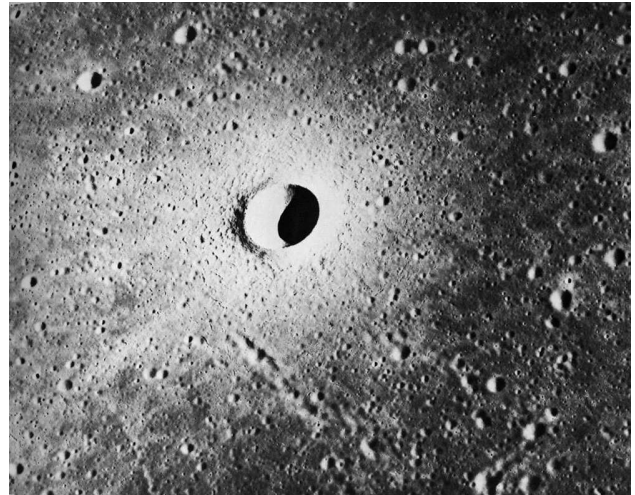


Figura 3. Linné ripreso dall'Apollo 15.

Discussione

Il diametro di 8 km stimato nel 1843 (aspetto [a]) appare inconciliabile con il presente diametro del cratere Linné (2.5 km). Tuttavia, occorre sottolineare che Beer e Mädler osservavano con un rifrattore da 95 mm e Lohrmann con uno da 108 mm, che ponevano le attuali dimensioni di Linné al limite del rispettivo potere separatore. In tal caso è difficile ritenere che il valore di 8 km sia il risultato di precise misurazioni micrometriche, e quindi è ragionevole supporre che sia derivato da una grossolana stima visiva. Inoltre, l'elevato contrasto fra il cratere pieno d'ombra e l'alone chiaro che lo circonda possono aver portato Beer e Mädler a fare una stima esagerata del diametro di Linné. Tralasciando quindi l'esagerata stima del diametro fatta nel 1843, gli aspetti [a] e [c] sono compatibili: entrambi indicano una cavità profonda, riempito di ombra quando il Sole è basso, e che quindi si presenta come un cospicuo craterino.

Il presente lavoro ha confermato che l'aspetto [b], cioè la macchia chiara, è una caratteristica permanente visibile almeno dal 1866 in tutte le condizioni di illuminazione. Quindi, tra i differenti aspetti mostrati da Linné durante gli ultimi 157 anni sembrano incompatibili fra loro solo la forma di cratere (aspetti [a], [b] e [c]) e la forma di collina (aspetto [d]). Si potrebbe dire che questa incompatibilità è resa meno drastica dal fatto che Linné è stato visto anche come cono craterico (aspetto [d]) e come collina con un craterino in cima, attraverso telescopi da 450 a 830 mm di diametro. Inoltre, confrontando le figure 1 e 2 si conferma che, sotto differenti condizioni di illuminazione, anche le formazioni 1, 2, 3 mostrano solo uno dei due aspetti: quello di collina in luce radente, quello di cratere con Sole alto 11° .

A questo punto, sembra che non esista contraddizione tra i differenti ritratti di Linné fatti da differenti osservatori fra il 1843 e oggi, ma che essi siano complementari. In altre parole, un osservatore ha registrato un aspetto (per esempio la collina), un altro ne ha registrato l'altro (il cratere) come realtà singole. Lo stesso, apparente, dualismo è stato confermato nel presente lavoro per le formazioni 1, 2, 3 da un osservatore impersonale qual è un CCD in differenti condizioni di illuminazione. Su questa base sperimentale, non sembra necessario ammettere che Linné abbia subito significative modifiche dal 1843 a oggi.

Il dualismo cratere-collina

Questo lavoro ha documentato il fatto che, in luce radente (H del Sole circa 1°), Linné mostra l'aspetto di una collina, mentre rivela la sua natura di cratere solo col Sole alto circa 11° . Questo fenomeno non è limitato a Linné, ma è ben noto agli osservatori visuali della Luna, per esempio nel caso dei craterini sul fondo di Plato (1-3 km di diametro), ed è stato verificato in questo articolo anche per le formazioni indicate coi numeri 1, 2, 3 nelle figure 1 e 2. Per questo dualismo collina-crateri, che si presenta come una caratteristica generale dei piccoli crateri, l'autore propone la spiegazione che segue.

Un cratere visto in condizioni di illuminazione solare radente può apparire come una collina, o come una collina con una depressione sulla cima, se il sistema atmosfera-telescopio-rivelatore è incapace di registrare realisticamente una *formazione-chiave* le cui dimensioni sono vicine o al di sotto del potere risolutivo del sistema. La *formazione-chiave* è quella sottile falce di luce che separa l'ombra che riempie il cratere dall'ombra gettata dalla cinta del cratere. Questa falce luminosa è la piccola porzione di cavità craterica, prossima alla cresta della cinta, illuminata dalla luce radente del Sole.

La *formazione-chiave* in esame è ben visibile in Linné A e Linné B già sotto un'altezza solare di pochi gradi (figure 1) e allora questi rivelano subito la loro natura craterica. In Linné e nei craterini 1, 2, 3 illuminati da un Sole alto 1° o meno (figure 1), questa falce luminosa dovrebbe essere larga al massimo circa 100 m e dovrebbe assottigliarsi, per ridursi a zero, verso le cuspidi di un semicerchio avente un raggio prossimo a 1 km circa.

Nel sistema di immagini dell'autore un pixel copre un rettangolo di superficie lunare largo circa 700 m. Una falce luminosa larga 100 m ed estesa per meno di 3 km non può essere registrata come tale con questo sistema, ma può solo contribuire a schiarire i 3 pixel sui quali dovrebbe cadere. Il risultato sarà un debole schiarimento di un certo numero di pixel, altrimenti neri, dell'interno del cratere o del bordo che getta l'ombra, che possono pertanto riprodurre la sfumatura della cima di una collina.

Con l'aumento dell'altezza del Sole, questa falce si allarga, così che, quando diventa ampia almeno 700 m, essa può essere registrata su un significativo numero di singoli pixel luminosi fiancheggiati da pixel neri e può quindi rivelare la natura del cratere (figura 4).

Per suffragare questa spiegazione l'autore ha escogitato tre test, due diretti e uno indiretto. I test diretti avrebbero dovuto essere realizzati riprendendo Linné sotto un Sole alto 1° con

un telescopio di almeno 1000 mm di apertura e con la stessa camera CCD, oppure con lo stesso telescopio ma con una camera avente pixel di circa $5 \mu\text{m}$ di lato. In queste immagini si sarebbe dovuto vedere Linné come cratere, ma nessuno di questi due test era nelle disponibilità dell'autore.

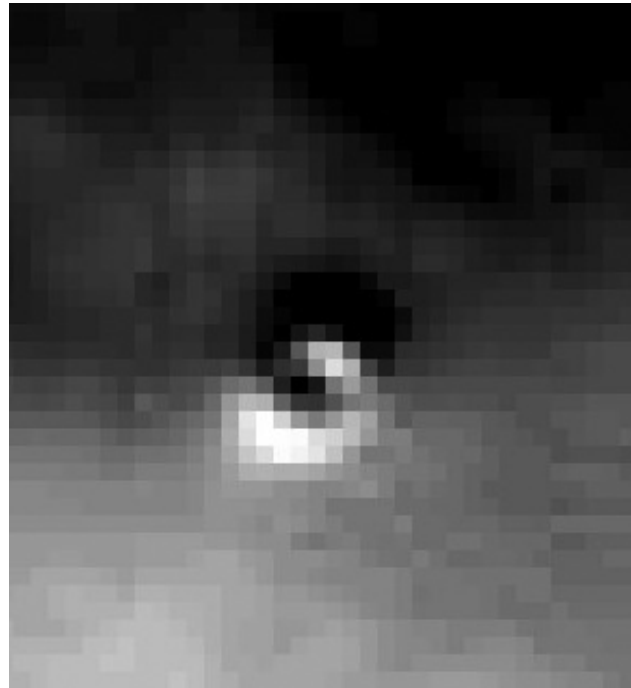


Figura 4. Dettaglio dei singoli pixel che costituiscono l'immagine di un piccolo cratere. Se ne riconosce la natura di cratere se la cavità e l'ombra nere sono separate da un arco di pixel illuminati.

La prova indiretta è stata realizzata degradando l'immagine CCD della figura 1a mediante tre filtri gaussiani aventi larghezza a metà altezza pari a 1, 1.4 e 2 pixel. Queste convoluzioni hanno simulato l'osservazione dei crateri Linné A e B condotta in condizioni di turbolenza maggiore o mediante strumenti di diametro inferiore o, infine, di un cratere di dimensioni paragonabili a Linné nelle stesse condizioni osservative illustrate nel presente lavoro. I risultati sono forniti dalle figure 5-7.

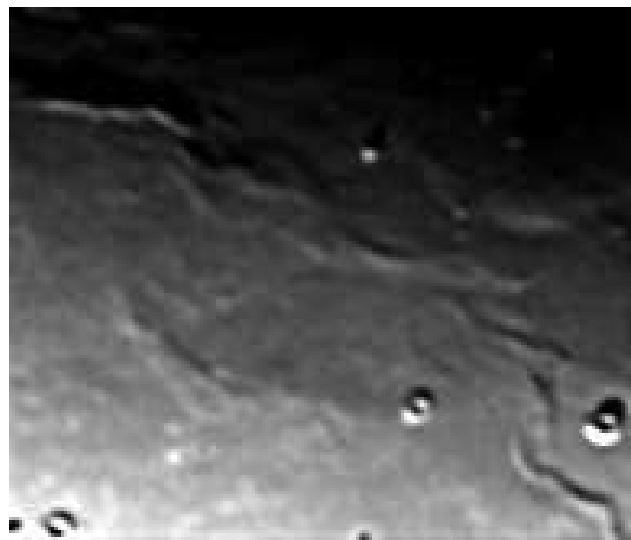


Figura 5. Risultato dell'applicazione alla figura 1a di un filtro gaussiano largo 1 pixel a metà altezza.

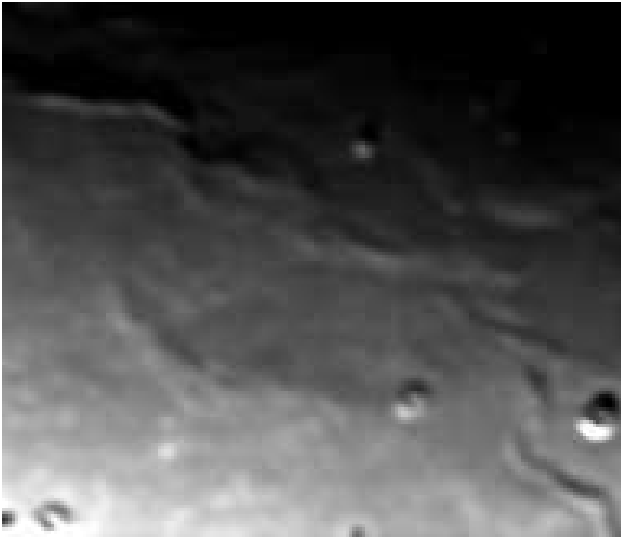


Figura 6. Risultato dell'applicazione alla figura 1a di un filtro gaussiano largo 1.4 pixel a metà altezza.

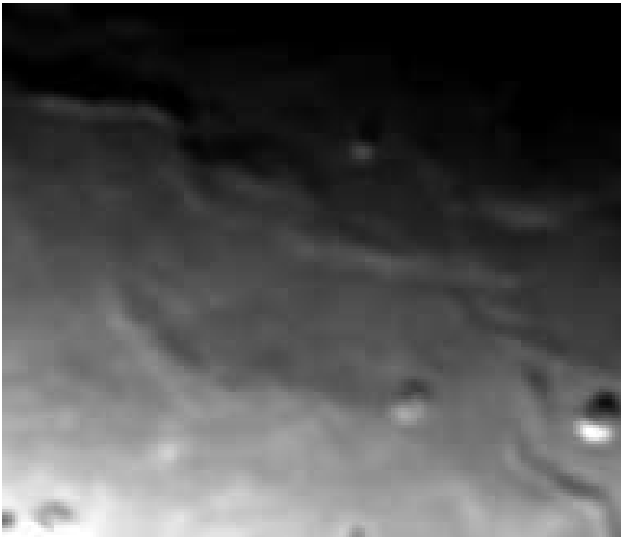


Figura 7. Risultato dell'applicazione alla figura 1a di un filtro gaussiano largo 2 pixel a metà altezza.

La convoluzione della figura 1a con un filtro gaussiano largo 1 pixel (figura 5) non ha avuto effetti significativi, ma

ha ridotto il rumore dell'immagine (come è noto). La convoluzione della stessa figura con un filtro largo 1.4 pixel (figura 6) ha trasformato i crateri Linné A e B in strutture collinari con una depressione sulla cima. La convoluzione con il filtro gaussiano largo 2 pixel (figura 7) ha trasformato gli stessi crateri in colline dall'aspetto simile a quello presentato nelle figure 1 da Linné e dalle strutture indicate con i numeri 1, 2, 3.

Queste elaborazioni mostrano quanto accade a un piccolo cratere quando è osservato in condizioni di illuminazione radente da un sistema atmosfera-telescopio-CCD di potere risolutivo insufficiente. Una convoluzione simile si verifica anche quando sono usati l'occhio o l'emulsione fotografica al posto del CCD. Nel caso dell'occhio, il rivelatore discreto è l'insieme dei coni della retina. Nel caso dell'emulsione fotografica, il rivelatore discreto è l'insieme dei grani d'argento.

Conclusioni

La convoluzione fra l'immagine di un craterino lunare sfiorato dalla luce del Sole e gli elementi discreti di un registratore di immagini può falsare l'aspetto del cratere quando il suo diametro è prossimo al potere separatore dello strumento impiegato, conferendogli l'aspetto di una collina. I risultati presentati in questo articolo possono così rendere conto di tutti i differenti aspetti registrati nel passato per Linné e per altri craterini, e sostengono l'opinione dell'autore che Linné non abbia subito alcuna modificazione fisica dal 1843 a oggi.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia Harry Jamieson, per il cortese dono del programma *Lunar Observer's Tool Kit*, e Raffaello Lena del GLR, per le stimolanti discussioni.

Bibliografia

- [1] Wilkins H. P., and Moore P., *The Moon*, 2nd Ed., Faber and Faber Ltd., London, pp. 36, 96, 1961.
- [2] *The Lunascan Project Home Page*: <http://www.astro-surf.com/lunascan/>
- [3] Wood C. A., *Sky and Telescope*, **98**, 3, 127 (1999)



Astronomy Precision Instruments & Technologies
Ortona (CH) - Rimini (RN)
(+39) 085 9066872; 347 3643461; Fax 085 9062600

Oculari, Filtri e sistemi portafiltro, Collimatori; Cercatori; Diagonali Dielettrici, Torrette Binoculari con OCS Relay 1.25" e 2" PXS 1.2x; Foccheggianti Std, Micrometrici e Motorizzati; Binocoli alte prestazioni, stabilizzati e grande diametro; Treppiedi; Montature AZ ed Equatoriali Go-To; Telescopi Rifrattori acromatici e Apocromatici, Riflettori, Catadiottrici; Stazioni Meteorologiche e sistemi monitoraggio; Utensili, Strumenti di misura, Ottiche, Componentistica professionale per laboratori ottici e di ricerca; Spettroscopia; Test ottici interferometrici con riferimenti Zygo; Sussidi e strumenti didattici; Sestanti; Globi; Microscopia; Cupole per osservatori



www.aleph-lab.com info@aleph-lab.com