

Il profilo d'intensità della penombra durante l'eclissi lunare

Costantino Sigismondi (*ICRA/Sapienza & G. Ferraris Institute Roma*)

Submitted July 28, 2018, Accepted October 20, 2018

Abstract The profile of the penumbra next to the umbra during the lunar eclipse is modulated by the solar limb darkening profile. The magnitude of the umbra and the Danjon scale index are done for the eclipse of July 2018.

Sommario Il profilo della penombra al limite dell'ombra durante un'eclissi di Luna è modulato dall'oscuramento al bordo del Sole. La luminosità dell'ombra e l'indice di Danjon sono osservati per l'eclissi di Luglio 2018.

Introduzione

La foto seguente del 28 luglio h 00:02:18 benché sfocata, mette in evidenza la questione fondamentale: perché l'ombra è sfumata? Perché non si vede il profilo netto della Terra?



Fig. 1 La luna nella fase finale dell'eclissi con cannocchiale 8x17 e GalaxyJ5

Le cause dell'ombra

Da Richero di Reims (PL90, 64) leggiamo che Gerberto risponde ad Otrico della causa dell'ombra. - «Io pretendo che

la causa dell'ombra è un corpo posizionato davanti la luce. È impossibile di esprimere ciò più brevemente.

Nel caso in oggetto dobbiamo distinguere le caratteristiche della sorgente luminosa, il Sole, e del corpo, la Terra con atmosfera.

Se il Sole fosse una sorgente puntiforme, l'ombra sarebbe più netta, poiché non ci sarebbe possibilità di avere penombra.

Ci sarebbe una sfumatura dovuta all'atmosfera terrestre che rifrange i raggi solari, anche dove sarebbe l'ombra geometrica.

La sfumatura dall'ombra alla luce è essenzialmente dovuta alla geometria della penombra, ma c'è un'altra combinazione che accentua la penombra: il limb darkening del Sole. Al bordo del Sole infatti l'intensità luminosa è circa il 16% di quella al centro del disco.

Quando nei pressi del limitare dell'ombra si è in una zona dove si vede l'1% del disco solare, l'intensità luminosa proveniente da questo va moltiplicata per il 16%, per cui sulla Luna si osserva solo l'1.6‰ della radiazione riflessa massima possibile.

Il bordo dell'ombra durante un'eclissi di Luna è sfumato, e l'estensione di questa sfumatura si percepisce per circa 1/5 del diametro lunare. Cosa determina la sfumatura vicino all'ombra dell'eclissi? L'ampiezza della penombra (dove, dalla Luna, si vede una parte del disco solare) corrisponde al diametro angolare dell'intera Luna e non solo ad una sua parte, poiché Sole e Luna, visti dalla Terra, hanno la stessa ampiezza angolare.

Misure osservative

Preso una foto dell'eclissi ci si muove perpendicolarmente all'ombra e l'intensità luminosa cresce prima seguendo una parabola con concavità verso l'alto e poi la crescita è lineare; proprio la parabola iniziale determina l'effetto sfumatura dal

buio alla luce per cui l'ombra non ha bordo netto.

Benché l'albedo della superficie lunare non sia omogenea, l'effetto sfumatura è comunque evidente come in figura 2.

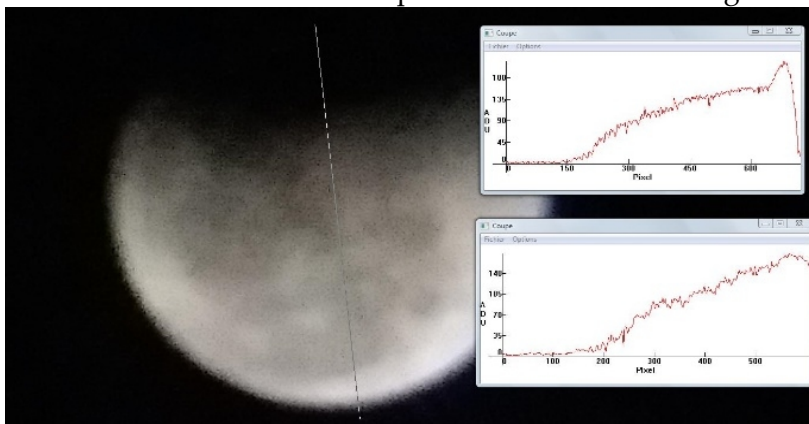


Figura 2. Eclissi di Luna del 28 luglio 2018 h 00:02:18: verso la fine della fase parziale. Istogrammi dell'intensità luminosa lungo linee perpendicolari al bordo dell'ombra fatti con IRIS.

Analogo della luce in eclissi usando un bordo rettilineo

La curvatura dell'ombra terrestre è quattro volte quella del disco lunare. L'ombra di un bordo rettilineo (curvatura infinita) approssima quella della Terra ed è realizzabile anche in casa fotografando il bordo di una finestra su uno schermo bianco; così abbiamo una soluzione “analogica” dell'integrale della funzione Limb Darkening (LDF) “pesata” con l'arco di Sole corrispondente e integrata su tutti i punti del disco solare visibile da un dato luogo della Luna.

Risultati con l'analogo geometrico rettilineo

Ad una distanza di 1m 70 ho posto uno schermo bianco su cui era proiettata l'ombra. Ho preso una foto a fuoco e con buona risoluzione dell'inizio dell'ombra, che poi ho analizzato col software IRIS.

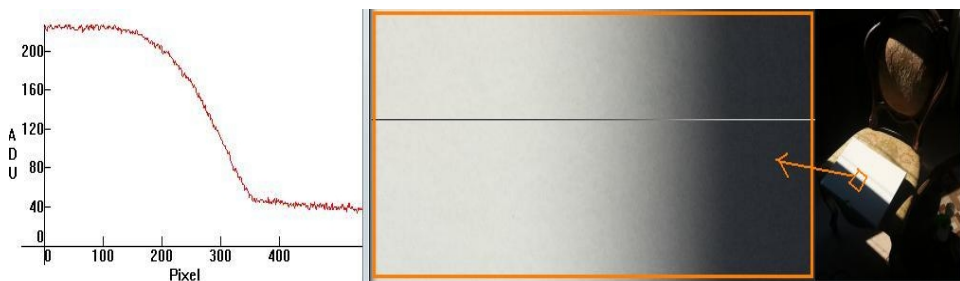


Figura 3. Istogramma e dettaglio dell'ombra del bordo di una finestra sullo schermo bianco.

Si ottiene così graficamente proprio il risultato dell'integrale (*) della LDF pesata con l'arco.

$$2 \int_a^1 \left(LDF(x) = 0.16 + 0.84 \cdot \sqrt{1-x^2} \right) \arcsen \left(\sqrt{x^2 - a^2} \right) dx$$

In fig. 4 è l'integrale della LDF pesato con l'arco passante per x.

La fotometria dell'ombra dell'eclissi del 27-28 luglio 2018

L'illuminazione nell'ombra è determinata dalla rifrazione dell'atmosfera terrestre e soprattutto dall'attività solare e dall'aspetto della corona. Durante la totalità (h 21:30-23:13, massima alle 22:22) ho comparato l'intensità della luce della Luna con astri sfocati alla sua stessa dimensione angolare.

h 21:40 meno di Giove (-2.13, estinta a -1.68) più di Marte (-2.8 estinto a meno di -0.95 perché a 6° di altezza e con la foschia)

h 22:40 come Arturo (magnitudine allo zenit -0.04 est. +0.26) più di Saturno (+0.18 est. 0.64) meno di Giove (est. -1.50 e meno di Marte (est. -1.93)

h 23:00 più di Arturo (est. +0.28) meno di Marte (est. -2.04)

Secondo la scala di Danjon ho valutato un indice intermedio tra 1 e 2: D=1.5; calsky.com prevedeva D=1.3.

La magnitudine prevista era 0.6; noi valutando 0 alle 23 e 0.26 alle 22:40 **estrapoliamo per le 22:22** una magnitudine pari a 0.50, anche questa in buon accordo con le previsioni calsky.

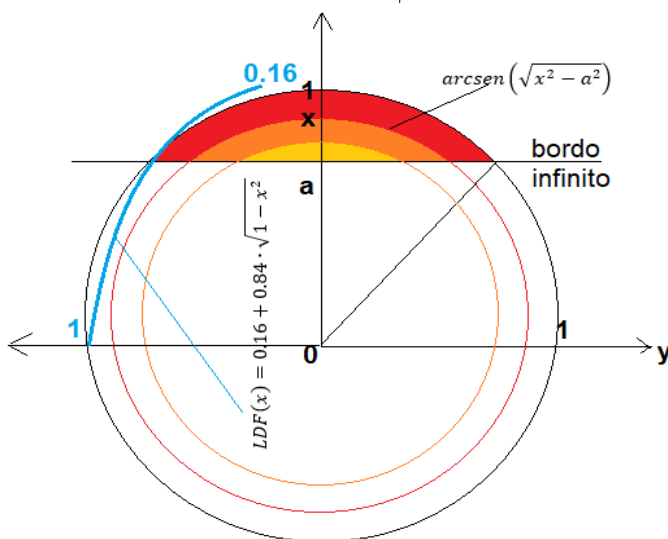
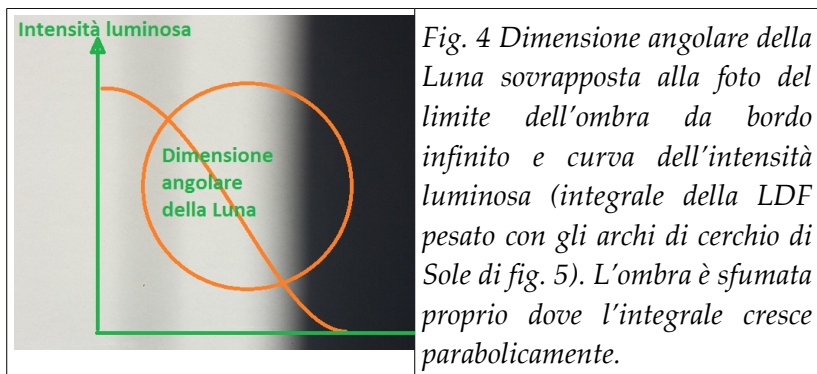


Figura 5. Sull'asse delle x è fissata la coordinata a dove sta il bordo infinito del corpo che produce l'ombra. Le sezioni di Sole colorate dal rosso cupo all'arancio, al giallo sono via via più centrali, in accordo con l'andamento della LDF (in blu, e a sinistra) che cresce dal 16% al bordo del Sole fino al 100% al centro del Sole. La funzione arcoseno dà la lunghezza dell'arco di cerchio che ha l'intensità $LDF(x)$. L'intensità di luce che arriva sullo schermo è data dai prodotti della $LDF(x)$ per gli archi di cerchio corrispondenti, sommati (integrale *) per tutti i valori di x compresi tra a ed 1.

Conclusioni: il ruolo della LDF del Sole nella penombra

La soluzione analitica dell'integrale (*) esiste solo nel caso di "Sole rettangolare" in cui il termine a moltiplicare la LDF è costante per tutti i valori di x . La soluzione numerica di (*) con il bordo infinito richiede un calcolo piuttosto complicato, mentre la soluzione analogica utilizzando la foto dell'ombra prodotta dal bordo di una finestra offre un risultato grafico immediato, nella parte sinistra della figura 3. Il bordo curvo della Terra non cambia qualitativamente i risultati ottenuti col bordo infinito, già in buon accordo con gli istogrammi della figura 2 fatti con IRIS [6]. Le eclissi lunari hanno ancora segreti da svelare: nessuno [1, 2 sono testi classici] aveva ancora parlato della relazione tra Limb Darkening Function del Sole e bordo dell'ombra nell'eclissi lunare. Da Rogerson [5] ho preso la LDF adattata alle forme funzionali di Richmond [3] e Cowan [4]. Pubblichiamo la fotometria della totalità dell'eclissi realizzata ad occhio nudo sfuocando le stelle di riferimento [7].

Bibliografia

- [1] Couderc, Paul Les Éclipses, Presses Univ. de France 1971, 100.
- [2] Espenak, F. <http://www.mreclipse.com/>
<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEcat5/appearance.html>
- [3] Richmond, M., <http://spiff.rit.edu/classes/phys440/lectures/limb/limb.html>
- [4] Cowan, G. <https://www.pp.rhul.ac.uk/~cowan/astro/limbdark/ldcurves.jpg>
- [5] Rogerson, J. B. Jr., *Astrophys. J.* 130, 985 (1959).
- [6] Buil, C. <http://www.astrosurf.com/buil/iris-software.html>
- [7] Renz, C. Stellar magnitudes of Mars; Jupiter; Saturn: www.curtrenz.com