

## Misure angolari di aloni con la ghost image del Sole

Costantino Sigismondi

*prof.sigismondi@icra.it*

(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)

Submitted April 17<sup>th</sup> 2021, accepted May 7<sup>th</sup>

**Abstract** The greenish Sun's ghost image has its real angular diameter. In the photos of several haloes occurred in Rome between April and May 2021, occurred also in similar atmospheric conditions of the Scheiner's halo (1629), the solar ghost images are intentionally produced, and used as reference rods in the photos of haloes, parhelia and coronae.

**Sommario** L'immagine riflessa del Sole tra le superfici ottiche della camera fotografica è molto meno intensa di quella diretta, e appare di colore verdino. Questa immagine mantiene il diametro angolare reale del Sole, che viene perso, invece, nella zona saturata dal Sole stesso, molto più grande per Sole reale. Per questa proprietà la usiamo come metro angolare campione per le misure di aloni e corone solari.

**Keywords** Halo, Corona, Parhelium, Ghost Image.

### Introduzione Roma e l'alone di Scheiner (1629)

Si può ritenere che la moderna scienza dell'ottica atmosferica abbia avuto i suoi inizi a Roma quando il padre Gesuita Christopher Scheiner (McAlpine, 2011) riportò la notizia di sorprendenti aloni e parelii multipli che ritroviamo nei carteggi con Christiaan Huygens, Marin Mersenne, René Descartes e altri scienziati del tempo (Tape et al. 2008).

L'osservazione del diametro angolare dell'alone osservato dallo Scheiner il 20/3/1629 (Gassendi, Whalley, 1981 e Riikonen, 2000) ha suscitato l'ipotesi che sia prodotto da cristalli di ghiaccio Ic cubico, che si creano solo a temperature tra i 180 e i 240 K.

Ci sono state varie discussioni sull'attendibilità della misura del raggio dell'alone di 28°, che troviamo in letteratura (cfr. le Referenze), angolo che avvalorava l'ipotesi del ghiaccio Ic, invece del normale ghiaccio Ic responsabile dell'alone a 22° e dei pareli, e del circolo parelico. Nel presente articolo mostro come effettuare la misura dell'apertura di un alone solare,

sfruttando la presenza della ghost image del Sole nella foto.

**La Ghost Image del Sole** è prodotta da almeno due riflessioni

1. sulla lente obbiettivo 2. sul vetro di protezione della camera.

È verde per il trattamento antiriflesso delle lenti; è speculare.

Compare quando il Sole è leggermente fuori asse, e la si può “mandare” su una zona più oscura della foto, come un muro.

Le fotocamere degli smartphone hanno diametri  $d=2$  mm, e una risoluzione angolare di  $50''$ ; il Sole ha un diametro medio di  $32'=1920''$ , quindi può essere ripreso al meglio con  $1920/50=38$  pixels ottici effettivi. Usare più megapixel per avere dischi solari con più pixel di diametro non aumenta la risoluzione, perché la diffrazione della luce è quella che fissa la risoluzione angolare. Nella foto in fig. 2 il diametro del Sole nella *ghost image* è di 16 pixels, la foto è  $1152 \times 2048$  pixels, per sfruttare al meglio la risoluzione angolare potrebbe essere spinta a raddoppiare i pixels nelle due direzioni, comunque il contrasto che l'alone ha col fondo cielo non migliorerebbe, e l'apertura dell'alone è abbastanza ben definita attorno ai  $22^\circ$ .



Fig. 1 l'alone solare del 3 maggio 2021, senza *ghost image*.

Normalmente in una foto di questo tipo è molto difficile vedere la *ghost image* dallo schermo, occorre ripeterla a vari

angolazioni, e poi scegliere la foto riuscita all'ombra.



Fig. 2 Aloe e *ghost image* alla sinistra del luce sovraesposta del Sole, che appare gigante perché la camera è a ISO-64 come valore minimo della sensibilità, troppo per la fotosfera.

Il Sole reale è di 16 pixel di diametro, l'aloe è abbastanza diffuso su una corona circolare di quasi 2°, quattro diametri solari. Si nota che nella fig. 1, senza *ghost image*, l'aloe iridescente e il suo contorno bianco circoscritto sono visibili.

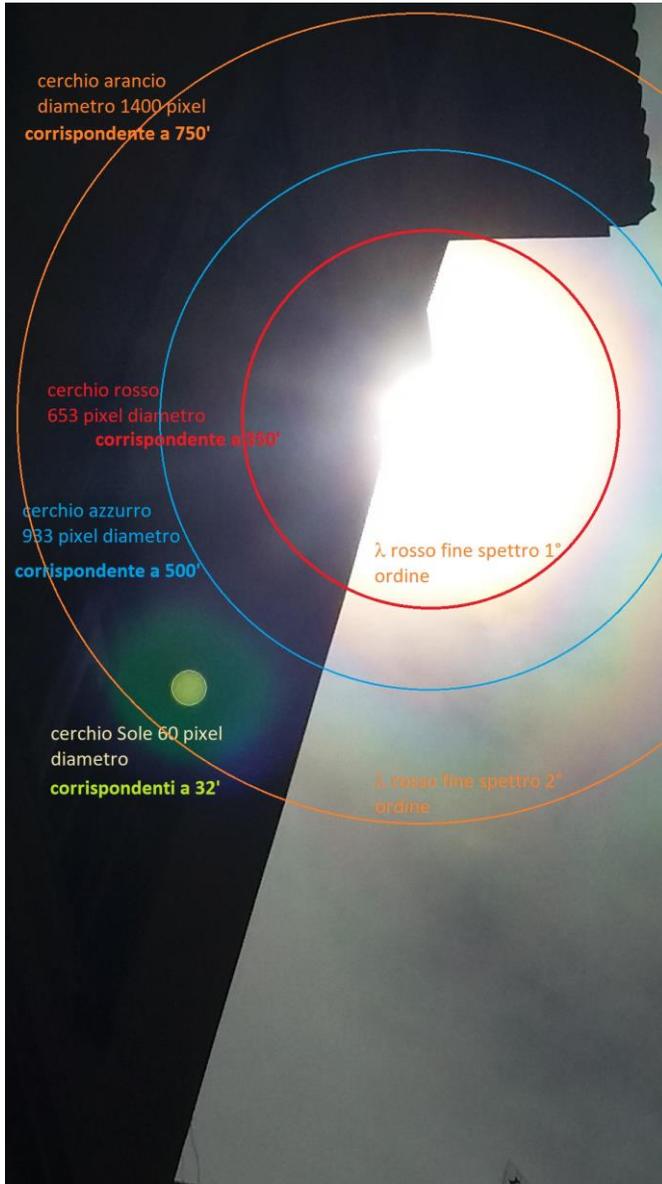


Fig. 3 la corona solare del 17/4/2021 a Roma. Le distanze angolari dei tre cerchi sono di 6°, 8° e 12.5°.

**Coronae solari e diametro delle goccioline** La causa delle cosiddette *coronae* sono nubi di goccioline di dimensioni abbastanza uniformi. Si possono avere diametri compresi tra i 10  $\mu\text{m}$  e i 40  $\mu\text{m}$ . Goccioline più piccole producono per diffrazione *coronae* più ampie; la diffrazione è la stessa da una sferetta opaca e da un'apertura dello stesso diametro (che produce i dischi di Airy), per il principio di Babinet.<sup>1</sup> Seguiamo questo procedimento *fisico*: il diametro angolare del primo anello di diffrazione in secondi d'arco è  $\theta = 140'' \cdot [1000 \mu\text{m}/\varnothing] \cdot [\lambda/550 \text{ nm}]$ .<sup>2</sup> Da questa ricavo per il primo anello con particelle di diametro tra 10 e 40  $\mu\text{m}$   $\theta_{10} \sim 4^\circ \cdot [\lambda/550 \text{ nm}]$  e  $\theta_{40} \sim 1^\circ \cdot [\lambda/550 \text{ nm}]$ . Nel rosso  $\lambda \sim 650 \text{ nm}$ , quindi gli angoli aumentano del 20%. Benché il primo anello si intraveda solo nelle foto dove non c'è la ghost image, la spaziatura tra anelli dello stesso colore permette di valutare questo angolo. Quindi in luce rossa il primo anello lo troveremmo a  $4.8^\circ$ , gli altri a  $9.6^\circ$ ,  $14.4^\circ$  e  $19.2^\circ$  per  $\varnothing = 10 \mu\text{m}$ , e con  $\varnothing = 40 \mu\text{m}$ , la sequenza degli anelli sarebbe quattro volte più piccola:  $1.2^\circ$ ,  $2.4^\circ$ ,  $3.6^\circ$  e  $4.8^\circ \dots$ . Nella fig. 3 sono visibili il  $2^\circ$  e il  $3^\circ$  anello, mentre il  $1^\circ$  è immerso nella regione satura dell'immagine, troppo vicino al Sole. Il  $2^\circ$  anello è a  $350' = 5.8^\circ$ , quindi il  $1^\circ$  sarebbe a  $2.9^\circ$ ; la dimensione delle goccioline che hanno prodotto l'immagine di fig. 3 è  $[4.8^\circ/2.9^\circ] \cdot 10 \mu\text{m} = 16.6 \mu\text{m}$ . La spaziatura tra l'anello rosso, il secondo  $2^\circ$  anello rosso, e il l'anello colorato di blu che è l'inizio del  $3^\circ$  anello rosso è di  $500' - 350' = 150' = 2.5^\circ$ , compatibile con i  $2.9^\circ$  stimati prima per l'apertura del  $1^\circ$  anello che si ripete negli altri:  $[4.8^\circ/2.5^\circ] \cdot 10 \mu\text{m} = 19.2 \mu\text{m}$ . Dalle due stime abbiamo un diametro medio  $\varnothing = 17.9 \pm 1.3 \mu\text{m}$ .

---

<sup>1</sup> Questa spiegazione, molto fisica, la prendo dal sito di Les Cowley ed io la applico *in toto* alle *coronae* <http://www.atoptics.co.uk/droplets/corform.htm>

<sup>2</sup> Si noti che usando il primo minimo dei dischi di diffrazione di Airy la formula, usata per i telescopi, diventa  $\theta = 100'' \cdot [1000 \mu\text{m}/\varnothing] \cdot [\lambda/500 \text{ nm}]$ .

Si può stimare la dimensione media delle goccioline dal rapporto tra il diametro degli anelli e quello del Sole (*ghost image*).<sup>3</sup> Le *coronae* sono prodotte dalla diffrazione della luce da parte di goccioline. Utilizzando il primo anello rosso (meglio) o l'anello rosso esterno delle *aureolae* valgono le formule:

$\varnothing[\mu\text{m}]=250/\text{diametro rosso } 1^\circ \text{ anello in unit\`a di diametri solari}$

$\varnothing[\mu\text{m}]=120/\text{diametro dell'aureola in unit\`a di diametri solari}$

Nella figura 3 i diametri dei due anelli sono disegnati in rosso a 350'  $\varnothing[\mu\text{m}]=120/[350/60]=20.6 \mu\text{m}$  e in arancio a 750'  $\varnothing[\mu\text{m}]=250/[750/60]=20 \mu\text{m}$ ; la media vale  $\varnothing=20.3\pm 0.3 \mu\text{m}$ .

Il 1° procedimento *fisico* e la *formula operativa* hanno prodotto risultati simili: 18 e 20  $\mu\text{m}$  per le gocce d'acqua diffrangenti. Anche i pollini producono *coronae*, ellittiche se i pollini non sono sferici, con l'asse maggiore in verticale, perpendicolare alla loro disposizione geometrica in caduta libera, a Sole basso.

**Referenze** W. Tape et al., *Applied Optics* **37** H72 (2008)

E. Whalley, *Science* **211** 389 (1981)

K. McAlpine, *The seven suns of Rome*, *Nature News* (2011)

M. Riikonen et al., *Applied Optics* **39** 6080 (2000)

C. Sigismondi, Arco Circumzenitale parelico del 16 aprile 2021 a Roma; Misure della Corona solare (iride) del 17 aprile 2021; Alone del 3 maggio 2021; Aloni iridescenti riflessi in acqua del 3 dicembre 2020; Raccolte di foto, video e misurazioni.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Circumscribed\\_halo](https://en.wikipedia.org/wiki/Circumscribed_halo)

<http://www.atoptics.co.uk/halo/fnum.htm>

[http://www.virtuelles-kupferstichkabinett.de/de/?action=zoom\\_single&id=26395](http://www.virtuelles-kupferstichkabinett.de/de/?action=zoom_single&id=26395)

(24/1/1630, pareli e circolo parelico, osservati da C. Scheiner SJ a Roma)

<https://atoptics.wordpress.com/tag/pollen-corona/>

---

<sup>3</sup> Queste formule le prendo dal sito di Les Cowley, sostituendo alla Luna la *ghost image* del Sole. <http://www.atoptics.co.uk/droplets/cordrsz.htm>