

PUBBLICAZIONI
DELL'ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA
DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
diretto dal prof. ANTONINO LO SURDO Accademico d'Italia

N. 64

ENRICO MEDI

Osservazioni sul "raggio verde"

ROMA
ANNO MCMXLI-XIX

Estratto dalla « *Rivista di Meteorologia* »

Vol. II - Fasc. 3-4 - 1940-XVIII

Osservazioni sul "raggio verde"

Nota di ENRICO MEDI

Immediatamente dopo la scomparsa del sole sotto l'orizzonte, e nel punto ove questa è avvenuta, si osserva, in particolari condizioni, uno sprazzo di luce verde, avente la durata di alcuni decimi di secondo: a questo fenomeno viene dato il nome di « raggio verde ». È notevole il numero degli osservatori che hanno descritto i particolari aspetti sotto i quali si è loro presentato il fenomeno e le circostanze nelle quali fu veduto. La maggior parte di queste osservazioni è avvenuta sugli oceani e in condizioni speciali dell'atmosfera dal punto di vista ottico. Cospicuo è anche il numero delle pubblicazioni scientifiche, nelle quali sono proposte teorie per la spiegazione fisica del fenomeno, ed alcune contengono anche ricerche sperimentali come verifica delle ipotesi teoriche. Nella bibliografia annessa sono indicati i più notevoli fra questi lavori, così che è possibile seguire lo sviluppo storico e scientifico della questione. Particolarmente importante, per il suo contributo sperimentale, è la ricerca compiuta da Danjon e Rougier.

Nella presente nota espongo i risultati di una lunga serie di osservazioni sperimentali da me compiute sul raggio verde sin dall'agosto dell'anno 1939, e continuate nei mesi giugno, luglio, agosto e settembre del presente anno. La ricerca venne compiuta all'altezza di circa 750 metri sul livello del mare, nell'Osservatorio di Rocca di Papa, che è in via di riorganizzazione a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Ho iniziato la mia indagine in seguito ad alcune osservazioni del sole, in prossimità del tramonto, con un piccolo canocchiale, avente circa trenta ingrandimenti. Avevo notato infatti che, nella parte superiore, il disco solare terminava con un sottile bordo, di colore verde-azzurro, e nella parte inferiore con un bordo rosso porpora. La rifrazione che subiscono i raggi del sole da parte dell'atmosfera può rendere ragione di queste colorazioni. Infatti i raggi emessi da un punto qualsiasi del sole sono tanto più dispersi quanto maggiore è il percorso da essi compiuto nell'atmosfera, ossia quanto maggiore è la distanza zenitale del sole. Essendo maggiormente rifratte le radiazioni di minore lunghezza d'onda, esse giungono all'occhio dell'osservatore sotto un angolo minore, rispetto alla verticale, che non quelle rosse, quindi vediamo le prime come provenienti da punti maggiormente elevati sull'orizzonte e le seconde come provenienti da punti più bassi. Osservando la parte centrale del sole, per la continuità con cui sono distribuiti i punti emittenti, non si nota alcuna separazione di colori; ai bordi, invece, è possibile vedere separate le radiazioni, venendo a mancare la sovrapposizione dei punti emittenti: precisamente, nella sua parte più elevata, il disco del sole appare formato da radiazioni di più piccola lunghezza d'onda, mentre il limite inferiore si presenta costituito da radiazioni di lunghezza d'onda maggiore. Le porzioni laterali, per ragioni di simmetria, non presentano colorazione, e ciò prova che le colorazioni osservate non sono dovute a difetto di acromatismo dello strumento.

Quindi, teoricamente, il disco solare dovrebbe presentarsi colorato al limite superiore in violetto, degradante verso l'azzurro e il verde coll'avvicinarsi al centro del disco, e, al limite inferiore, colorato in rosso-arancione

La figura 1 rappresenta schematicamente il fenomeno, mostrando il cammino di due raggi provenienti da un punto P' del sole, ciascuno dei quali sia costituito di due sole radiazioni monocromatiche R (rossa), V (violetta).

Per effetto della rifrazione il raggio A è separato nei due raggi V_A , maggiormente deviato, R_A meno deviato. Il raggio

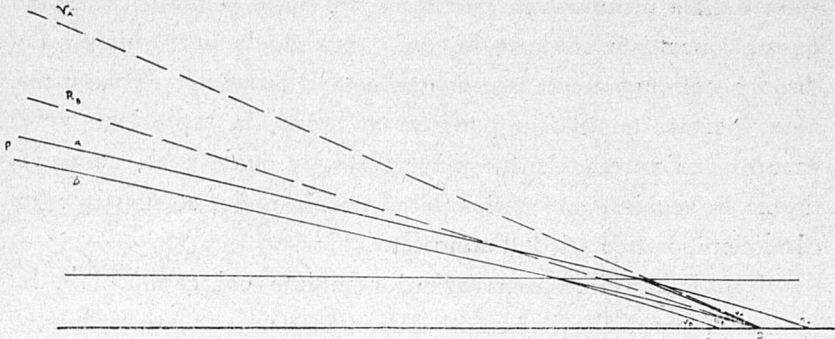


Fig. 1.

B, parallelo ad A, è scelto in modo, che il raggio rifratto R_B giunga nello stesso punto O, dove cade il raggio V_A . Un osservatore posto in O, riceve le radiazioni secondo la direzione data dalle tangenti ai due raggi nel punto di osservazione, vede quindi

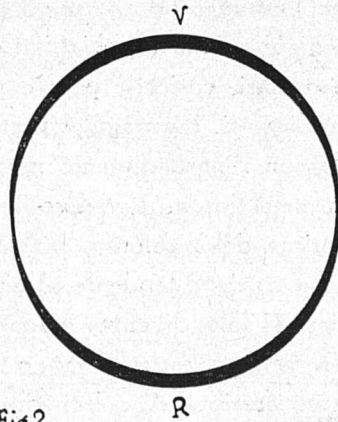


Fig. 2

due immagini del punto P' , una più elevata nella direzione OV_A colorata in violetto, l'altra, meno elevata, nella direzione OV colorata in rosso.

La figura 2 mostra schematicamente la forma dei due bordi colorati.

In realtà l'apparenza del fenomeno è complicata dall'assorbimento selettivo che subiscono le radiazioni da parte dell'atmosfera e dalla piccolissima estensione dei bordi colorati. Seguendo questi concetti si comprende come, quando la parte bianca del disco è completamente scomparsa sotto l'orizzonte, debba rimanere, per un tempo sia pure molto breve, la radiazione verde azzurra dell'estremo lembo più elevato, la quale però, come vedremo in seguito, non è visibile ad occhio nudo, se non in certe condizioni particolari dell'atmosfera.

Fin dalle prime osservazioni compiute col canocchiale ho potuto rilevare, che il bordo verde era quasi sempre visibile, e persisteva fino all'istante del tramonto: e mi persuasi che è sempre possibile osservare il raggio verde al tramonto, col cielo sereno, purchè si munisca l'occhio di un canocchiale adatto.

Dato l'interesse che presentava il fenomeno, ho compiuto una serie di osservazioni sistematiche, per studiarne i particolari aspetti e metterli in relazione con altri fenomeni di carattere meteorologico. Durante l'intera estate di quest'anno, ho potuto disporre di un canocchiale avente un obiettivo di dodici centimetri e corredato di due oculari, cosicchè potevo disporre di sessanta o di duecento ingrandimenti. La maggior parte delle osservazioni sono state compiute con l'ingrandimento maggiore. Mediante la osservazione diretta sono riuscito a vedere il bordo colorato sino a quindici minuti prima del tramonto. In giornate molto serene il bordo aveva una colorazione tendente al violetto; detta colorazione, nell'abbassarsi del sole, diveniva gradatamente azzurra; poi assumeva una tinta verde-azzurra e infine verde più o meno accentuato. Questa successione di colori dipende oltre che dalla rifrazione, dall'assorbimento dell'atmosfera, che è maggiore per le lunghezze d'onda più piccole e ciò spiega come in giornate serene, che seguivano periodi di pioggia, la colorazione era prevalentemente azzurra o violetta fin quasi al tramonto, mentre in giornate, che furono seguite da un peggioramento delle condizioni

meteorologiche, la colorazione tendeva al verde cupo, senza mai presentare la colorazione violetta.

Ho spesso notato come alcuni minuti prima che il sole raggiungesse l'orizzonte, la sua immagine cominciava a deformarsi e, nella parte superiore, si separava una porzione intensamente colorata in verde azzurro, di forma rapidamente variabile e di notevole estensione, rispetto alle dimensioni normali del bordo colorato; poi la colorazione svaniva e dopo un tempo molto breve tornava a vedersi. Questo fatto si ripeteva diverse volte successivamente, ad intervalli di quattro o cinque secondi, finchè il sole scompariva del tutto sotto l'orizzonte, con un ultimo sprazzo verde. In questi casi si realizzavano quindi condizioni molto vicine a quelle necessarie per la visione diretta ad occhio nudo del raggio verde.

Per determinare, almeno approssimativamente, l'apertura angolare del bordo colorato, ho posto avanti all'obiettivo del cannocchiale, uno schermo al quale si poteva applicare un diaframma di diametro variabile in modo continuo.

Diminuendo gradatamente il diametro del diaframma, si giungeva ad un certo valore, al di sotto del quale non si osservava più il bordo verde superiore e, per un'apertura generalmente più piccola, scompariva anche la colorazione rosea inferiore. Ciò dimostra che in tal caso, il diametro della porzione dell'obiettivo rimasta utile, è inferiore al valore minimo necessario per vedere il bordo colorato distinto dal resto del disco solare.

Infatti, con semplici considerazioni di ottica ondulatoria, si dimostra che per vedere separati due punti, la cui distanza angolare rispetto all'osservatore è α , è necessario che l'obiettivo dello strumento ottico adoperato, abbia un diametro utile, non inferiore ad un certo valore d , fornito dall'espressione:

$$d = \frac{2\lambda}{\alpha} 0,61.$$

Il valore minimo del diametro utile dell'obiettivo, per cui si vedeva ancora il bordo colorato, era, in certe condizioni della atmosfera, di circa 6 millimetri. Introducendo questo valore nella formula e supponendo per semplicità di calcolo $\lambda = 5000$ Ångström, si ottiene l'angolo sotto cui appare il bordo:

$$\alpha = \frac{2\lambda}{d} 0,61 = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}{6 \cdot 10^{-4}} 0,61 = 1,02 \cdot 10^{-4}.$$

Dato che il disco solare si presenta sotto una apertura di circa trenta primi e cioè, in radianti, dell'ordine di 10^{-2} , si deduce che il rapporto fra la grandezza del bordo e quella del disco è dell'ordine di $\frac{1}{100}$. Questo ordine di grandezza è stato confermato anche dai risultati ottenuti mediante misure compiute con un metodo differente, che ora descriverò.

Queste considerazioni ci spiegano come per l'occhio, non munito di strumento ottico, a causa del piccolo diametro della pupilla, non sia possibile raggiungere le condizioni di visibilità diretta del fenomeno, tranne in casi assai rari, in cui l'estensione del bordo sia molto maggiore della normale ⁽¹⁾.

Un metodo che si è rivelato più comodo e pratico, per fare le osservazioni, quando il sole è ancora alto sull'orizzonte, consiste nell'ottenere un'immagine reale di esso in proiezione sopra uno schermo bianco. Per realizzare questa immagine mi sono servito dello stesso canocchiale, spostando opportunamente l'oculare rispetto all'obiettivo, in modo da ottenere un'immagine ben netta di circa cinquanta centimetri di diametro. In questo modo ho evitato la stanchezza eccessiva dell'occhio, che si produceva guardando direttamente. La visione diretta era necessaria, invece, quando il sole era più prossimo al tramonto, dato il diminuito splendore dell'immagine del disco luminoso.

⁽¹⁾ Bisogna inoltre tenere presente il fatto che l'occhio, in generale, non separa per angoli inferiori al minuto primo, e quindi, è necessario, oltre al potere separatore dell'obiettivo, un sufficiente ingrandimento del canocchiale.

Riporto a titolo di esempio l'andamento del fenomeno seguito nei suoi particolari con osservazioni iniziate circa tre ore prima del tramonto: queste osservazioni si riferiscono al 6 settembre 1940. L'osservazione, mediante il metodo della proiezione descritto, si è iniziata alle 16^h 40^m (1). I bordi del disco solare non presentavano colorazione, il cielo si è mantenuto sereno, solo in vicinanza dell'orizzonte si vedeva qualche nube di piccola estensione.

La colorazione dei bordi, azzurro-viola in alto e rosa-arancione in basso, si è iniziata verso le 17^h 40^m; questi bordi erano però pochissimo estesi, il rapporto del loro spessore rispetto al diametro del disco era circa $\frac{1}{150}$.

Fino alle 18^h i bordi aumentavano gradatamente di estensione e nitidezza, dalle 18^h e 2' alle 18^h e 15' una nuvola di tenue spessore si è interposta sul cammino dei raggi solari, il bordo azzurro è diventato debolissimo mentre il rosa si conservava ancora ben visibile. Tornato il disco solare completamente libero si sono presentate ben nette le colorazioni e lo spessore andava aumentando fino a circa $\frac{1}{70}$ del diametro solare.

Verso le 18^h 30' la colorazione azzurra era quasi completamente scomparsa lasciando posto a quella verde di un colore verde smeraldo, ancora più esteso della colorazione precedente. Alle 19^h ho cominciato a guardare direttamente attraverso il cannocchiale, servendomi sempre dell'oculare col maggiore ingrandimento. Ho potuto seguire così la colorazione verde fino al tramonto, osservando l'ultimo raggio solare che era di un colore verde intenso. Ho riportato i particolari di questa giornata come semplice esempio dimostrativo del metodo di osservazione adottato.

In altri giorni la colorazione verde del bordo superiore si è

(1) Le ore riportate sono in base al tempo legale, corrispondente al tempo proprio del primo fuso orario.

iniziata più tardi e talvolta solo venti minuti prima del tramonto. L'osservazione diretta non è stata mai possibile prima di venti minuti dal tramonto per l'eccessivo splendore della sorgente luminosa.

L'osservazione del sole al suo sorgere ha dato risultati analoghi a quelli delle osservazioni compiute al tramonto.

Ho pensato che osservazioni simili avrebbero potuto farsi anche per la luna e, a questo scopo, ho trasportato il canocchiale in posizione opportuna per esaminare la luna piena al suo sorgere.

All'inizio non ho osservato la presenza del bordo colorato e ciò si spiega col fatto, che essendo la radiazione di debole intensità, la colorazione verde è quasi completamente estinta per il forte assorbimento della bassa atmosfera. Dopo sette minuti dal sorgere dell'astro è cominciato ad apparire un debole bordo verdognolo, che è aumentato successivamente di nitidezza e luminosità. Dopo una diecina di minuti il bordo ha cominciato ad assumere una colorazione azzurra e successivamente violetta. Più tardi ancora l'estensione del bordo è andata diminuendo fino a scomparire completamente, dopo venticinque minuti dall'apparizione della luna. Una serie di osservazioni analoghe ho compiuto esaminando l'astro al tramonto sempre nella fase di luna piena, iniziandole circa tre ore prima del tramonto stesso. La colorazione si è iniziata circa 35 minuti prima del tramonto: in principio era verde azzurra, e verso la fine verde oscura.

Anche in queste condizioni mi è stato impossibile osservare la radiazione verde fino alla scomparsa dell'astro, perchè l'assorbimento dell'atmosfera era troppo forte. In tutte le osservazioni il bordo inferiore dell'astro era colorato in rosso cupo, per piccole elevazioni sull'orizzonte, in rosso arancione, per elevazioni maggiori e scompariva ogni colorazione per altezze superiori a circa una diecina di gradi.

Nelle osservazioni al tramonto la colorazione rossastra inferiore è stata spesso invisibile finchè la luna cominciò ad occultarsi.

I fenomeni descritti sono strettamente connessi con le condizioni fisiche dell'atmosfera e segnatamente con la varia stratificazione di essa. In modo speciale, ritengo assai probabile che la presenza di strati ben definiti nell'atmosfera sia la causa dell'alternò apparire e svanire della estesa zona verde, nella parte più elevata del disco solare, prima che il sole tramonti con un bagliore verde, che talvolta può essere osservato ad occhio nudo.

Perciò l'osservazione sistematica della colorazione del sole e delle particolarità che esso presenta (inizio della colorazione, distribuzione delle tinte, estensione dei lembi colorati) in relazione con l'altezza del sole sull'orizzonte, può fornire indicazioni preziose circa la temperatura, la densità, lo stato igrometrico, la costituzione degli strati attraversati dai raggi.

Da quanto ho esposto in questa nota, si possono trarre schematicamente, alcune conclusioni fondamentali.

1) Il raggio verde è un fenomeno dovuto alla rifrazione atmosferica: perchè esso sia visibile ad occhio nudo vi debbono essere speciali condizioni, e in particolare è necessaria una forte dispersione ed una notevole trasparenza dell'aria. Poichè tali condizioni sono più frequenti in mare, quivi esso viene osservato più facilmente.

2) Se l'osservazione è fatta con un canocchiale che abbia sufficiente apertura di obiettivo e un forte ingrandimento, si osserva una particolare colorazione dei bordi del sole — rossa nella parte inferiore e verde-azzurra in alto — sino al tramonto, ed infine un ultimo raggio verde.

3) L'esame sistematico di questi fenomeni e delle particolarità con cui si presentano, può avere una notevole importanza nella meteorologia pratica, essendo possibile trarne utili indicazioni intorno alle condizioni degli strati dell'atmosfera attraversati dai raggi solari.

BIBLIOGRAFIA

- NIJLAND A. A., *Meteor. ZS.*, 19, 335, 1902.
DANJON A. - ROUGIER G., *C. R.*, 171, 814-817, 1920.
MALLOK A., *Nature*, 107, 456, 1921.
PERNTER-EXNER, *Meteorologische Optik*, II ed., 902-904, 1922.
WOOD R. W., *Nature*, 121, 501, 1928.
RUDA F., *Rend. Lincei*, 6, 152-156, 1927.
RUDA F., *Rend. Lincei*, 6, 228-230, 1927.
ROSSMAN F., *Meteor. ZS.*, 51, 392-393, 1934.
WORLEY F. P. Lord Rayleigh, *Nature*, 135, 760, 1935.
NOBILE V., *Rend. Lincei*, 21, 615, 1935.
SCHRÖDER G., *Ann. der Hydrogr.*, 64, 91-93, 1936.
SCHRÖDER G. - HARTMANN W. - KLAHEN O., *Ann. der Hydrogr.*, 65,
489-496, 1937.