



↑ Mappa dei siti dove si sono recati gli esponenti del GAT di Tradate.

Che cosa ci ha insegnato l'eclisse americana

L'eclisse più seguita di sempre è stata studiata dagli astrofili del GAT di Tradate (VA), con notevoli risultati

Per il GAT (Gruppo Astronomico Tradatese), la grande eclisse totale di Sole dello scorso 21 agosto 2017 in USA era anche la decima eclisse in quasi 30 anni (la prima fu quella dell'11 luglio 1991 in Messico, la più lunga del 20° secolo).

LA LOGISTICA DELLA MISSIONE

Eravamo presenti in quattro punti differenti. Il gruppo maggiore (27 persone guidate da Cesare Guaita) si è recato a Casper, una cittadina di 60 mila abitanti, capitale dello Wyoming (1560 m slm). Qui, però, si recavano quasi tutti. Così, per evitare un incredibile affollamento che ha praticamente bloccato tutta la città, abbiamo prenotato a pagamento il grande parco di una comunità religiosa a est della città (*Highland Park*

Community Church), ottimamente equipaggiato dal punto di vista logistico. Decisione vincente, perché i grandi spazi a disposizione ci hanno permesso di lavorare al meglio con la copiosa strumentazione che ci eravamo portati.

Un altro gruppo, guidato da Lorenzo Comolli, si è recato a Glendo, piccolo paese di 200 abitanti, circa 50 km a est di Casper (1425 m slm), installandosi per l'osservazione nel *Glendo State Park*, essendosi fatti ospitare dalla sera prima nello stand della *Millikin University*. Così, hanno potuto mettere in asse gli strumenti durante la notte prima dell'eclisse, evitando la coda impressionante formatasi la mattina dopo. Tutto questo, unito al fatto che disponevano della strumentazione più raffinata, ha permesso loro di ottenere i risultati migliori.

Roberto Cogliati si è aggregato con alcuni amici alla folta spedizione *Tutanka 2017*, guidata da Corrado Lamberti in località *Waltman* (1500 m slm) presso *Riverton*, circa 80 km a ovest di Casper. Un quarto gruppo, guidato da Piermario Ardizio, si è recato dalle parti di *Rexburg* (1450 m slm) nell'Idaho, circa 300 km a ovest di Casper.

UNA CORONA "ESAGERATA"

La sorpresa maggiore è senz'altro stata la forma "ibrida" della corona solare (a metà tra una corona a "margherita" da Sole attivo e una corona dipolare da Sole quieto). Dopo il massimo solare del 2014-15, il Sole era caduto in un profondo minimo, rimanendo per un paio di anni quasi senza macchie (numero di Wolf mai superiore a 10-20). Da qui



↑ La postazione di Roberto Cogliati (Waltman, presso Roverton), nel momento del “diamante” di entrata.

Si ha l'impressione che il 24° ciclo di attività, lungi dall'essersi completamente esaurito, sia invece caratterizzato da un doppio massimo, un evento già verificatosi a volte nel passato, ma imprevedibile. Potrebbe essere questo improvviso recupero di attività solare la causa della fantastica corona solare americana.

LO SPETTRO FLASH

Comolli, assieme a Sordini, con un reticolo di diffrazione applicato all'obiettivo di un tele da 270 mm + Canon 450D senza filtro IR, hanno realizzato da Glendo uno spettro flash della cromosfera-corona di eccellente qualità, esteso fino al vicino infrarosso. Sono state fatte varie pose di 1/30 s a 400 ISO per una decina di secondi tra l'inizio e la fine della totalità. Vi si vede praticamente tutto quanto serve a capire la natura fisica e chimica della corona. Siccome la corona e la cromosfera sono costituiti da gas molto caldi, i corrispondenti spettri sono in emissione (righe chiare su fondo diffuso), invece che in assorbimento (righe scure su fondo diffuso), come negli spettri della fotosfera. Questa “inversione” dello spettro venne scoperta dagli astronomi P. Janssen e N. Locker durante un'eclisse che attraversò India e Malesia il 18 agosto 1868. Siccome questa inversione dello spettro si produceva nei pochissimi istanti precedenti e seguenti la totalità, venne adottata la definizione di *Flash-Spectrum*.

Durante la stessa eclisse, Janssen e Locker scoprirono in corrispondenza di una protuberanza una riga a 587,4 nm, inizialmente attribuita al sodio. Il 26 ottobre 1868 J. Locker osservò la stessa riga nel Sole e Ed. Frankland la attribuì a un nuovo elemento, che chiamò elio. Sulla Terra questo elemento non era ancora stato scoperto! Venne individuato solo nel 1882 da Luigi Palmieri nelle lave del Vesuvio. Poi, nel 1895 l'elio venne estratto dalla cleveite (un materiale altamente radioattivo dove vi si accumula per emissione di particelle alfa), indipendentemente dal britannico W. Ramsay (che lo mandò a Locker per la conferma) e dagli svedesi T. Cleve e A. Langlet, che per primi ne determinarono il peso atomico.

Il 7 agosto 1869, durante un'eclisse che attraversò il Canada e il Nord America, gli americani A. Jounq e W. Harkness scoprirono una riga nel verde che non riuscirono a identificare. L'anno dopo, il 22 dicembre 1870, A. Young (1834-1908) rivide la stessa riga in Spa- ➔

l'idea che la corona fosse ridotta e con una forma quasi perfettamente dipolare. Invece la corona “americana”, che si estendeva radialmente per almeno due diametri solari, ha mostrato una forma stupefacente e complessa, ricca di strutture tutto attorno al disco solare, facendo in parte ricordare quello che succede quando il Sole si trova invece in forte attività.

Le riprese dei coronografi C2 (corona media) e C3 (corona più esterna) della sonda SOHO erano perfettamente compatibili con quelle della corona ripresa in eclisse: vi si individuano infatti dei lunghi filamenti radiali di plasma che trovano nelle immagini della corona interna riprese da terra in eclisse la loro naturale continuità.

Le immagini migliori sono state ottenute a Glendo da Lorenzo Comolli ed Emanuele Sordini con due rifrattori Pentax 75 (500 mm f/6,7). Assemblando un centinaio di immagini riprese a 200 ISO con pose da 1/125 s a 1 s, ne è uscito uno splendido risultato, paragonabile a quanto si poteva vedere direttamente con un binocolo. Alla struttura dipolare generale si aggiungevano decine di pennacchi che fornivano un'idea di tridimensionalità: essendo la corona una struttura non piatta, ma concentrata a tutto il disco solare, la cosa è più che plausibile, ma difficilissima da rendere in una singola immagine.

Notevolissimi, nella bassa corona, i piccoli sistemi di linee di forza chiuse sulla superficie del Sole in corrispondenza di fenomeni attivi locali, come macchie e protuberanze. Proprio le protuberanze meritano un discorso più specifico. Sul bordo destro del Sole nero, Lorenzo Comolli (da Glendo), Paolo Bardelli e Gianni Galli (da Casper) hanno ripreso almeno tre grandiose protuberanze

rosse. La cosa interessante è che a Casper queste protuberanze erano state viste in H-alfa già prima che cominciasse l'eclisse, grazie a un Coronado Maxscope 60 mm (a 28,5x) degli astrofili del gruppo ticinese Le Pleiadi.

Eravamo quindi pronti a osservarle in diretta negli istanti seguenti alla fine della totalità (C3, terzo contatto): mai però avremmo immaginato la differenza macroscopica in dimensioni e dettagli tra la visione binoculare diretta in eclisse (Yuri Malagutti con binocolo Toptics 32x100 mm, Ivo Sheggia con il Televue 85 mm a 37x, Mariolina Rusconi con binocolo Zeiss 10x50, Paolo Bardelli e Danilo Roncato con binocolo Celestron 10x50 e binocolo Nikula 8x22) e quella fornita dal pur efficiente Coronado.

Il quadro generale si è completato con il sorgere di importanti aurore boreali sul Circolo Polare: una di queste è stata fotografata il 25 agosto sulla Groenlandia da Danilo Roncato e Paolo Bardelli, attraverso i finestrini dell'aereo che riportava in Italia la spedizione.

Che cosa stesse succedendo al Sole lo si è in parte intuito già al momento, per la presenza (decisamente inaspettata) di due grossi gruppi di macchie (AR 2671 e AR 2672 con un numero di Wolf risalito oltre 40. Ma tutto è risultato ancora più chiaro all'inizio di settembre 2017, quando dal bordo orientale (sinistro) del Sole hanno cominciato a emergere macchie di grande complessità e dimensione (la AR 2673, una delle maggiori degli ultimi anni, ha prodotto alcune delle aurore boreali più intense degli ultimi decenni!), con un numero di Wolf che è risalito oltre 120. Queste macchie (o meglio queste “regioni attive”) erano evidentemente già presenti sul lato invisibile del Sole durante l'eclisse.



↑ Questa impressionante immagine della corona in totalità è stata ottenuta da Comolli e Sordini, assemblando un centinaio di immagini ottenute con due strumenti Pentax 75 (500 mm f/6,7) a 200 ISO, con pose da 1/125 s a 1 s.

L'ECLISSE PIÙ STUDIATA DELLA STORIA

L'estensione per oltre 4000 km su territorio facilmente accessibile e le ottime condizioni climatiche specialmente in Oregon, Idaho e Wyoming, hanno reso questa eclisse 2017 forse la più vista e studiata della storia, sia da terra che dallo spazio. Il cono d'ombra è stato visto passare sugli USA perfino dal satellite lunare LRO (*Lunar Reconnaissance Orbiter*).

Assolutamente originale il progetto *Earth to Sky Team* di un gruppo di studenti della Bishop School (California): da Oregon, Idaho, Wyoming a Missouri 11 palloni dotati di telecamere hanno ripreso il cono d'ombra da 26 km di altezza.

La NASA ha pianificato undici progetti di studio, che andavano dalla ripresa di immagini della corona a varie lunghezze d'onda, allo studio della ionosfera e della bassa atmosfera. In questo ambito, è stato rilanciato il progetto *Airborne Science Program*, basato sull'utilizzo ad alta quota (15.000 m) di due bombardieri WB-57, dotati delle sofisticate camere DyNAMITE (*Day Night Airborne Motion Imagery for Terrestrial Environments*), in grado di riprendere fino a 30 immagini al secondo. Il sistema era stato utilizzato per la prima volta nel 2003 per seguire il tragico rientro in atmosfera dello *Space Shuttle Columbia*.

Partiti da Houston, i due WB-57 si sono diretti a 750 km/h nel cono d'ombra dalle parti di Carbondale (Illinois), dove l'eclisse aveva la massima durata. Siccome il cono d'ombra si spostava a 2250 km/h, la durata della totalità è stata praticamente triplicata: questo ha permesso di riprendere la corona solare e Mercurio sia nel visibile che nel vicino IR. Sono stati inoltre ricercati oggetti di piccole dimensioni (2-6 km, fino alla

mag. 13,5) nella regione dei "vulcanoidi" tra 0,08 e 0,18 UA dal Sole, ma senza successo.

Notevole anche il programma CATE (*Citizen Continental America Telescope Eclipse*), organizzato dall'Università dell'Arizona assieme al *National Solar Observatory*: 68 rifrattori identici da 80 mm e 500 mm di focale sono stati affidati ad altrettanti volontari (astrofili, studenti, insegnanti), distribuiti lungo tutta la fascia di totalità, con lo scopo di riprendere il Sole in totalità ogni 10 s per un totale di 92 minuti, in modo da evidenziare poi per la prima volta minime variazioni e movimenti nella struttura della corona. Obiettivo: cercare di chiarire il meccanismo fisico (forse mini-esplosioni cromosferiche) che fa riscaldare la corona fino ad 1-2 milioni di gradi.

Un altro progetto globale riguardava il comportamento di animali e piante ed è stato proposto dall'Accademia californiana delle Scienze di San Francisco, con il nome di *iNaturalist app*. Vi hanno aderito almeno 500 persone, che hanno effettuato oltre 2000 osservazioni di tipo differente. Mentre cani e gatti sembrano insensibili, le galline hanno reagito rientrando nei pollai, probabilmente in conseguenza dell'abbassamento di temperatura interpretato come inizio della notte. I pescatori hanno notato un forte incremento di pesci abboccati all'amo, come in genere succede di prima mattina o sul far della sera, quando i pesci sono più voraci.

Un notevole disorientamento è stato notato tra stormi di uccelli in volo. Una circostanza che ci ha visto direttamente coinvolti a Casper, quando, durante la totalità, uno degli uccelli che si aggiravano in gruppo sulla zona, si è letteralmente impastato sulla vetrata di un vicino edificio!

gnà e la misurò a 530 nm. Siccome non corrispondeva a nessun elemento conosciuto, si pensò inizialmente a qualcosa di specifico della corona solare: per questo A. Gruenwald nel 1887 lo denominò "coronio".

Solo nel 1930 W. Grotrian e B. Edlén scoprirono che questa riga era dovuta all'emissione del ferro 13 volte ionizzato (Fe XIV), ossia un atomo di ferro che ha perso ben 13 elettroni, un processo possibile solo ad altissime temperature: era il primo indizio che la temperatura della corona solare deve essere di almeno 2-3 milioni di gradi. Questo valore è stato confermato anche successivamente, ma non ancora completamente compreso dal punto di vista fisico.

LE MISURE ATMOSFERICHE

La valutazione delle variazioni dei parametri atmosferici indotte da un'eclisse totale di Sole è sempre stata oggetto di discussioni. Le prime misure (grossolane) di temperatura risalgono all'eclisse del 30 novembre 1834 (calo di 15°C in totalità su USA e Canada). Attualmente vengono misurate la temperatura, la pressione, l'umidità, la velocità del vento, la luminosità nella bassa atmosfera, la densità elettronica, le abbondanze di ozono e di vari tipi di ioni nell'alta atmosfera.

I primi studi di natura scientifica vennero pubblicati solo negli Anni 70 dallo svizzero M. Waldmeier (1912-2000), direttore dell'Osservatorio di Zurigo fino al 1980, sulla base di una quarantina di eclissi. Waldmeier fece notare che, per una corretta valutazione dell'effetto termico di un'eclisse, è indispensabile



↑ Le frecce indicano il teleobiettivo 100-400 mm, settato a 270 mm e dotato di reticolo di diffrazione sopra l'obiettivo, con cui Comolli e Sordini hanno realizzato gli spettri flash della cromosfera/corona, utilizzando una Canon 450D senza filtro IR.

tener conto dell'escursione giornaliera della temperatura ambiente (ΔT), legata al luogo e alla stagione. Waldmeier formulò una legge empirica, secondo cui il calo di temperatura durante un'eclisse si poteva prevedere moltiplicando $\Delta T \times 0,5$ per eclissi al centro della giornata e moltiplicando $\Delta T \times 0,2$ per eclissi di prima mattina o nel tardo pomeriggio. Per le eclissi in orari intermedi, Waldmeier assunse un coefficiente moltiplicativo generale di 0,37.

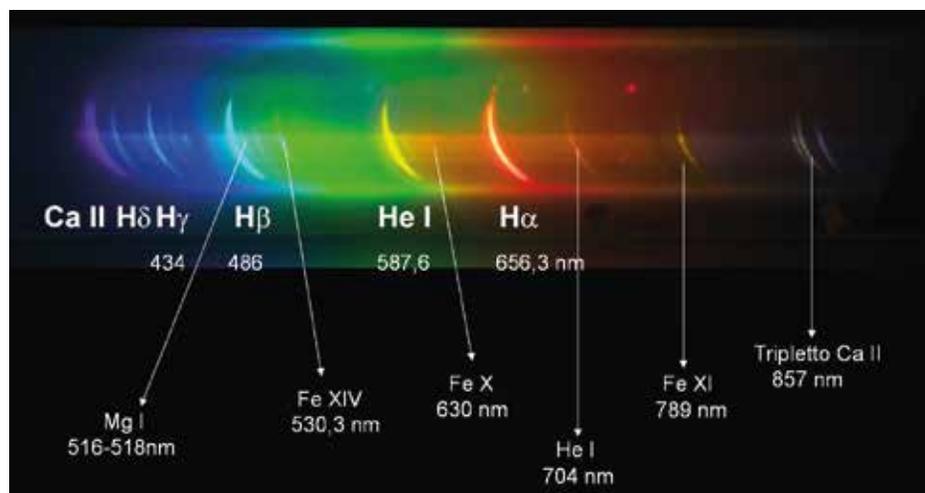
Per evitare anomalie dovute al riscaldamento del terreno e degli strumenti di misura, Waldmeier suggeriva anche di lavorare a 1-1,5 m di altezza e in ombra. Noi del GAT un po' di esperienza ce l'ab-

biamo, grazie alle misure di temperatura, umidità, pressione e luminosità di nove eclissi totali. I nostri valori "storici" mostrano cali di temperatura compresi tra 4 e 8°C (in buona concordanza con la "legge" di Waldmeier), aumenti proporzionali dell'umidità, costanza della pressione e cali di luminosità del 75-90%.

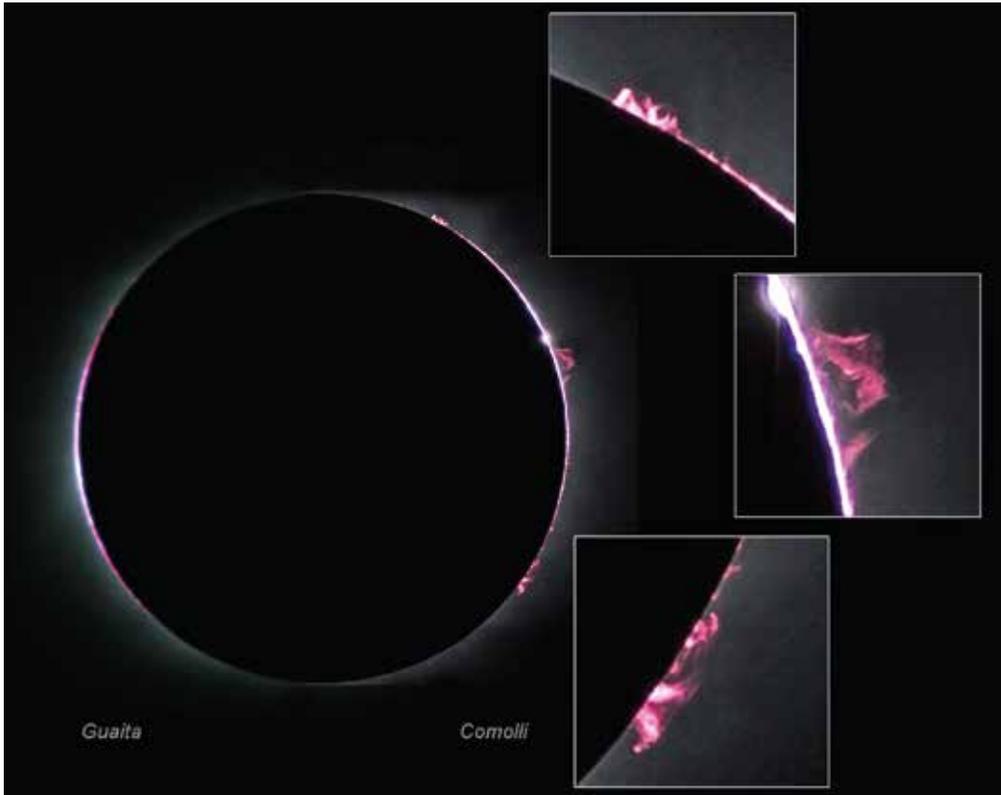
A Casper, che si trova a una quota di 1563 m, l'escursione termica media tra il 20 e il 22 agosto 2017 era molto elevata (ben 23°C secondo il servizio meteorologico locale). Dal momento che l'eclisse si svolgeva dalle 10.22 alle 13.09, era plausibile un alto coefficiente di Waldmeier (0,4-0,5), quindi un abbassamento di temperatura in totalità tra 9 e 12°C.

Ebbene questo è stato proprio il risultato delle nostre misure. Due termometri digitali a Casper (Oregon Scientific per il GAT e Pasco Scientific per il gruppo di Le Pleiadi) hanno mostrato un calo di temperatura di 10-11°C. A Glendo (1425 m slm), Comolli ha misurato un calo di 9°C. In tutti i casi, il minimo di temperatura ambiente si è raggiunto circa 10-15 min dopo la totalità. L'umidità si è progressivamente alzata in sincronia con l'aumento di temperatura: a Casper è passata dall'iniziale 17% al 30%. A Glendo l'innalzamento è stato più modesto: dal 40 al 47%.

Interessante anche la misura del vento (anemometro Pasco Scientific), che si è quasi fermato poco prima della totalità, passando da 2,5-3 m/s a 0,4 m/s. Un fenomeno analogo è stato osservato



↑ Uno degli spettri flash realizzati da Comolli e Sordini con indicate le righe di emissione principali. Sono stati ottenuti una ventina di questi spettri (posa di 1/30 s a 400 ISO) per una decina di secondi durante la totalità.

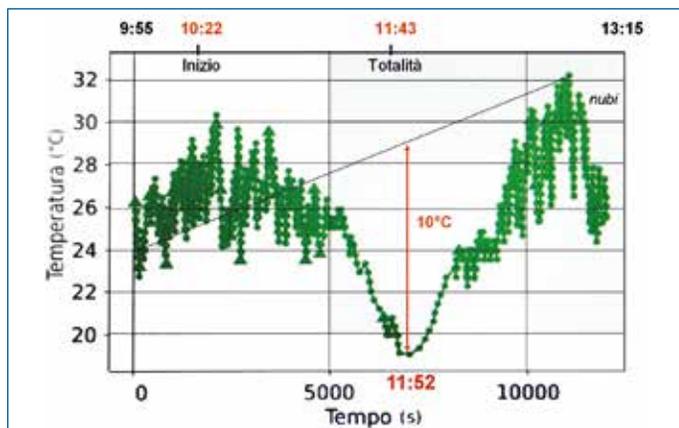


← L'intera cromosfera solare in un montaggio tra un'immagine in entrata (sinistra) ripresa con C90 (Guaita, 1/400 s a 100 ISO su Canon 350D) e un'immagine in uscita (destra) ripresa con Pentax 75 (Comolli, 1/125 s a 200 ISO su Canon 60D). Gli ingrandimenti a destra si riferiscono all'immagine di Comolli.

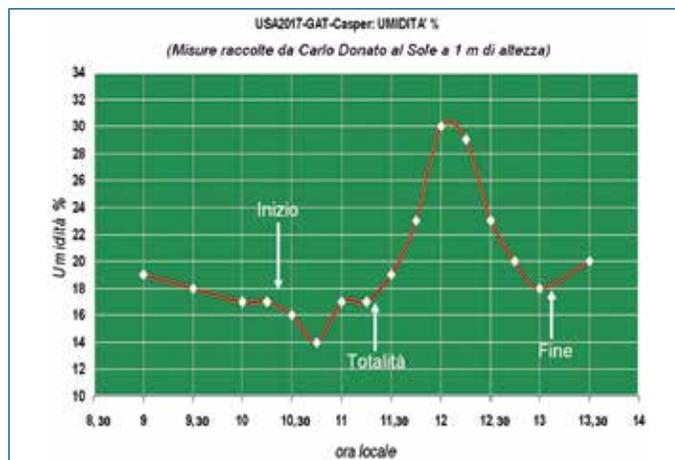
↔ dal gruppo di P. Ardizio a Rexburg. È possibile che più che un assenza di vento si sia trattato di "vento da eclisse" spirante in direzione opposta al vento locale dominante. Un fenomeno analogo ci era successo l'11 luglio 1991 in Messico, quando il fortissimo vento che spira sempre verso ovest sull'istmo di Tehuantepec si era improvvisamente bloccato nei 7 minuti di totalità. Quasi impercettibile è stata la variazione di pressione, che si è abbassata di meno di 1 millibar in totalità. Per quanto riguarda la luminosità, Comolli ha misurato a Glendo un calo da 125 mila a 3,7 lux: qualcosa di simile al cielo del crepuscolo (circa 30 min



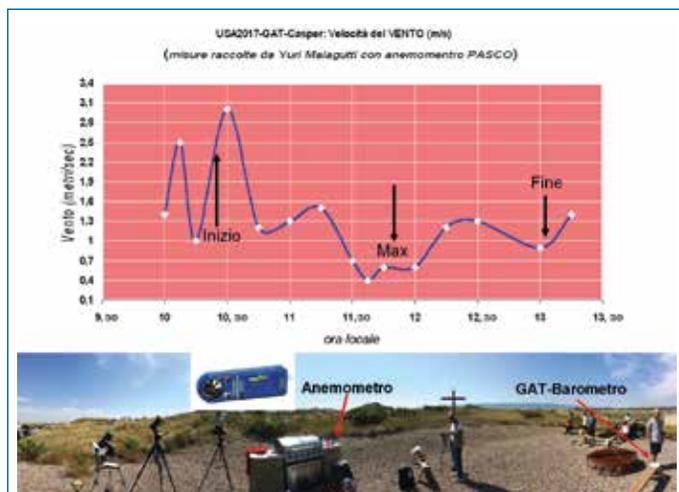
↑ Questa sequenza è stata ottenuta a Casper da Paolo Bardelli, assemblando 30+30 scatti ripresi a intervalli di 2min 45 s (Canon 60Da + zoom 17/85 mm a 24 mm).



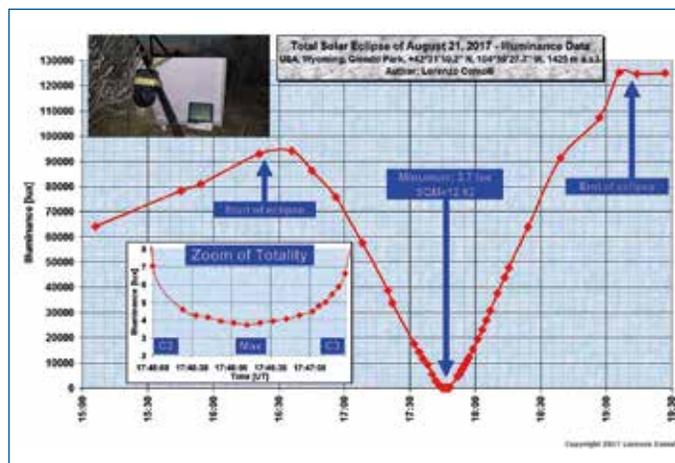
↑ L'abbassamento della temperatura durante l'eclisse rilevato a Casper 10 minuti dopo la totalità da Yuri Malagutti con una sonda meteorologica Pasco 2174 (12 mila misure dalle 9:55 alle 13:15 locali). Il calo della temperatura all'estrema destra è dovuto alla presenza di cirri d'alta quota.



↑ Le misure dell'aumento di umidità correlato con l'abbassamento di temperatura in eclisse, effettuate a Casper da Carlo Donato con uno strumento digitale Oregon Scientific.



↑ Il calo di intensità del vento in eclisse misurato da Malagutti con un anemometro Pasco: il vento locale (circa 10,5 km/h) si è quasi azzerato pochi minuti prima della totalità.



↑ Il calo di luminosità durante l'eclisse misurato a Glendo da Comolli con un luxometro digitale: da 120 mila lux fuori eclisse a 3,7 lux nel momento della totalità, un oscuramento paragonabile al crepuscolo serale con il Sole 30° sotto l'orizzonte.



↑ Stelle e pianeti ripresi da Bardelli in totalità con 1 s di posa fissa e obiettivo da 10 mm su Canon 50D.

dopo il tramonto), ma più che sufficiente per percepire (anche a occhio nudo, ma meglio con il binocolo) alcune stelle luminose (principalmente Regolo di mag. +1,4 in piena corona) e alcuni pianeti (Venere di mag. -4 a 34° dal Sole, Mercurio di mag. +3,4 a 10° dal Sole, Marte di mag. +1,8 a 8° dal Sole). Fantastica, durante la totalità, la tonalità giallo-arancio assunta da tutto l'orizzonte, specie dove, come a Rexburg e Glendo, il cielo si è mantenuto perfettamente limpido e sereno. ■

Per la conduzione di questo lavoro, **Cesare Guaita** ha coordinato un gruppo composto da **Piermario Ardizio, Roberto Cogliati, Paolo Bardelli, Carlo Donato, Gianni Galli, Carlo Lanzani, Yuri Malagutti, Carlo Marelli, Danilo Roncato, Ivo Scheggia, Lorenzo Comolli, Emmanuele Sordini.**