

L'eclisse parziale di Sole del 1999

(Luglio 2002)

*Giorgio Bressan, Massimo De Luca, Valter Gennaro, Dario Gaiotti,
Aldo Rodaro, Adriano Toldo e Dario Zanfagnini*

Introduzione

Nell'agosto del 1999 un'eclisse totale di Sole ha interessato l'Europa e il Friuli Venezia Giulia si è trovato ai bordi della zona di totalità; la massima copertura del disco solare, nella località di Remanzacco, presso Udine, è stata del 96% circa e ciò ha prodotto una breve, ma significativa riduzione dell'illuminazione diurna che è stata chiaramente percepita anche dalle persone poco attente agli eventi astronomici.

In questo articolo sono esposte le osservazioni e le analisi condotte da un gruppo di radio astrofili che hanno seguito l'eclisse con radio telescopi, con semplici strumenti ottici ed hanno eseguito anche alcune osservazioni meteorologiche. L'esperienza vissuta e i risultati ottenuti sono stati talmente stimolanti che si è deciso di raccogliercle in queste pagine, sperando che ciò possa essere di stimolo anche ad altri nel programmare ed intraprendere l'osservazione di eclissi solari.

Le condizioni al contorno

L'eclisse ha avuto luogo il giorno 11 agosto 1999 e la fascia della totalità ha attraversato tutta l'Europa, da nord-ovest a sud-est, ma l'Italia ne è rimasta esclusa. In quel giorno, le condizioni meteorologiche nella maggior parte delle località europee interessate dalla totalità non erano buone, a causa di una marcata instabilità atmosferica. Nel Friuli Venezia Giulia le fasi di massima copertura del disco solare si sono avute nelle ore centrali della giornata con il Sole molto alto sull'orizzonte e ben visibile grazie alle buone condizioni atmosferiche mattutine, che sono ulteriormente migliorate nel corso della giornata.

Gli strumenti usati

Le osservazioni sono state eseguite da Remanzacco, in provincia di Udine, (Latitudine N 46.086, Longitudine E 13.316 e altezza s.l.m. 113 m), la località si trova in pianura e il luogo prescelto per le osservazioni è situato alla periferia di Remanzacco, in un'area verde. Gli strumenti utilizzati per seguire l'eclisse nelle radio onde furono: un interferometro costituito da due antenne fisse Yagi a 17 elementi e posizionate lungo la direttrice est-ovest, alla distanza di 30 metri l'una dall'altra, operanti alla lunghezza d'onda di 2 metri.

Un radiometro costituito da una parabola di 2 metri di diametro dotata di montatura alto azimutale e sensibile alla lunghezza d'onda di 3 cm. Oltre a questi due strumenti fu utilizzato un dispositivo, normalmente impiegato per il rilevamento delle meteore con la tecnica del forward scatter, ma che nel corso dell'eclisse servì per la registrazione del rumore di fondo ionosferico, tale dispositivo era costituito da una sola antenna fissa, Yagi a 7 elementi, operante alla lunghezza d'onda di 6 metri. Passando agli strumenti ottici, si fece uso di un celostato per la proiezione del disco ottico solare su uno schermo che venne fotografato con una comune macchina fotografica. Le osservazioni meteorologiche si basarono prevalentemente su un termometro a mercurio avente una precisione di 0.5 C, su un igrometro a capelli, precisione 2%, e su di un barometro aneroidale, precisione 0.5 hPa. Le lunghezze d'onda utilizzate per l'osservazione dell'evento non furono casuali, bensì furono scelte con il preciso scopo di seguire il fenomeno nelle diverse regioni solari, cioè la Corona, tramite l'interferometro, la Cromosfera, per mezzo del radiometro e la Fotosfera grazie alle osservazioni ottiche. Infatti, è noto che a seconda della lunghezza d'onda scelta per l'osservazione della nostra stella, si selezionano zone diverse di emissione della radiazione, a partire dalle regioni più esterne della sua atmosfera, tramite lunghezze d'onda metriche, fino agli strati più interni della stessa, con le onde centimetriche e sub centimetriche.

Ricordiamo che l'interferometria è una tecnica molto usata in radioastronomia in quanto essa permette di elevare la risoluzione angolare dei radiotelescopi. Infatti un singolo radiotelescopio, e questo vale anche per i telescopi ottici, possiede un limite intrinseco nella capacità di distinguere due sorgenti di radiazione non coincidenti sulla volta celeste. Questo limite è conseguenza del fenomeno chiamato diffrazione delle onde elettromagnetiche, le quali vengono disperse durante la loro propagazione a causa dell'interazione con il radiotelescopio stesso. Tale limite è direttamente proporzionale al rapporto tra la lunghezza d'onda della radiazione osservata (L) e il diametro della superficie di raccolta della radiazione o il suo equivalente in caso di antenne non a disco (D). Nel caso delle onde radio, il rapporto L/D è elevato in quanto la lunghezza dell'onda rilevata è comparabile, o di poco inferiore, alle dimensioni tipiche dei radiotelescopi. In definitiva ciò significa che anche con un grande radiotelescopio risulta difficile costruire delle mappe dettagliate delle sorgenti radio celesti. L'interferometria combina le misure contemporanee di più radiotelescopi posizionati in luoghi diversi, che quindi ricevono la radiazione con piccole, ma significative, sfasature a causa della diversa lunghezza percorsa dalla radiazione per raggiungere ciascun radiotelescopio (vedi figura 0). Queste sfasature cambiano a seconda della posizione dei radiotelescopi sulla superficie terrestre e di quella della sorgente sulla volta celeste, che non è fissa a causa della rotazione del nostro pianeta sul proprio asse. A seconda della sfasatura le registrazioni di ognuno dei radiotelescopi si sommano o si annullano parzialmente o totalmente dando origine ad una figura di interferenza che è intimamente legata alla configurazione dei radiotelescopi e alla posizione della sorgente sulla volta celeste (vedi figura 1). Dato che la posizione dei radiotelescopi è nota con ottima precisione, si può, a partire dalla figura di interferenza, calcolare la posizione della sorgente sulla volta celeste con una risoluzione che è molto superiore a quella ottenibile con una singola antenna. Tale risoluzione aumenta all'aumentare della distanza delle antenne l'una dalle altre. Con questa tecnica si ottengono delle immagini ad altissima risoluzione delle radiosorgenti celesti.

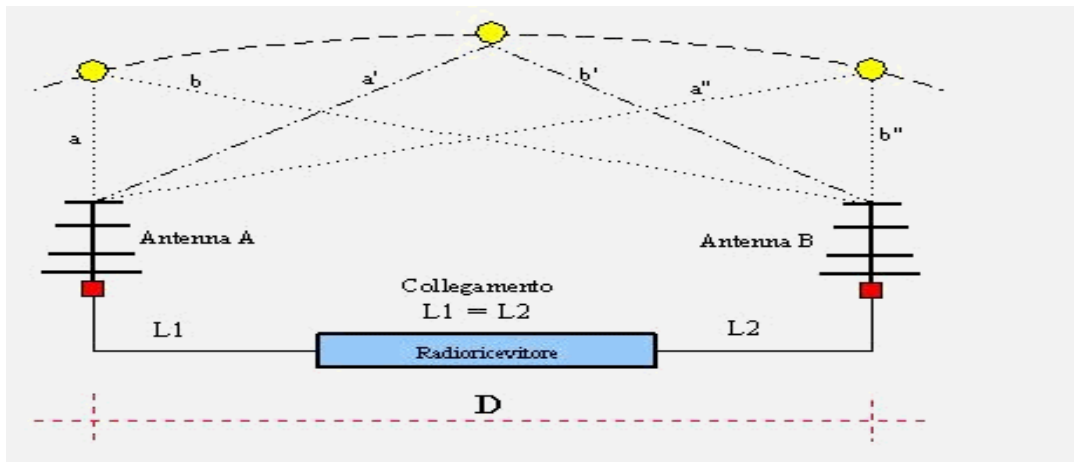


Figura0. Schema semplificato del funzionamento dell'interferometro usato per le misure illustrate in questo articolo. Le antenne A e B sono fisse, rilevano la radiazione emessa dalla sorgente e la inviano al radiorecettore che somma i due contributi. In funzione della posizione nel cielo della sorgente, la radiazione percorre cammini di lunghezza diversa, vedi le coppie a,b; a',b'; a'',b'', quindi essa viene addizionata con delle sfasature, che a seconda della differenza di cammino, fanno sì che i due segnali si sommino (per esempio caso a',b'), aumentandone l'intensità, o si sottraggono riducendo il segnale fino ad azzerarlo quando i due contributi sono in opposizione di fase. Il risultato sono le frange di interferenza presentate in figura 1.

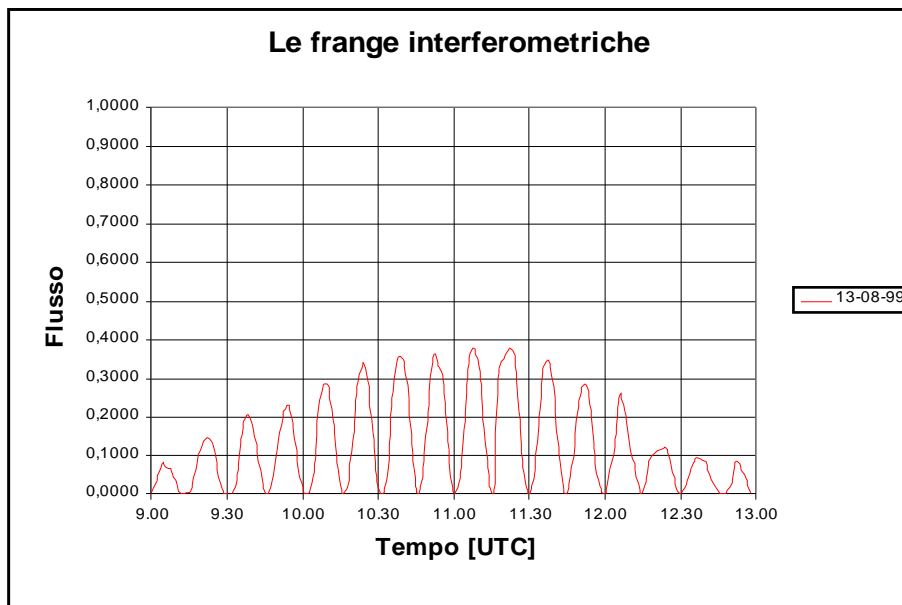


Figura1. La figura di interferenza rappresenta il flusso energetico misurato dall'interferometro in funzione del tempo. Nel corso del suo moto apparente quotidiano del Sole nel cielo, il segnale radio proveniente dalle due antenne dell'interferometro si somma o si sottrae dando origine alle frange di interferenza che sono un alternarsi di massimi e minimi di flusso. L'ampiezza delle frange di interferenza è funzione del flusso solare e della capacità delle antenne di raccogliere il flusso stesso. Essendo le antenne rivolte a sud e fisse, tale capacità è massima in nelle ore centrali della giornata, minima al sorgere e al tramonto del Sole. In questa figura viene riportata la frazione di flusso totale giornaliero, in funzione del tempo, misurata il giorno 13 agosto 1999.

Osservazioni a 2 m

Come già scritto qui sopra, l'interferometro ha rilevato sostanzialmente la radiazione proveniente dalla Corona solare, cioè dalla parte più esterna dell'atmosfera solare che può estendersi per milioni di chilometri a partire dalla Fotosfera. L'interferometro usato è, per sua costruzione, uno strumento che non segue il Sole nel suo movimento apparente nel cielo, bensì sfrutta tale continuo cambiamento di posizione del corpo celeste per produrre interferenze tra le onde radio captate dalle singole antenne. La figura di interferenza prodotta dal Sole (vedi figura 1) è funzione sia dell'intensità del flusso radio solare sia della posizione del Sole nel cielo.

Dallo studio della figura di interferenza prodotta è possibile raggiungere delle risoluzioni angolari molto maggiori di quella ottenibile tramite l'utilizzo di una singola antenna. Nel caso dello strumento qui descritto, la massima risoluzione raggiungibile è di circa 4, contro i 60 di una antenna; purtroppo si tratta di una risoluzione troppo scarsa per poter studiare i dettagli della superficie coronale, in quanto la Corona viene percepita come una sorgente puntiforme, non estesa. Ad ogni modo, durante un'eclisse, porzioni di superficie coronale vengono temporaneamente coperte dalla Luna, e perciò possibile rilevare la radiazione proveniente da porzioni limitate del disco coronale, mettendo in evidenza eventuali anomalie locali altrimenti impercettibili, a tale proposito si veda il modello concettuale esposto in figura 2.

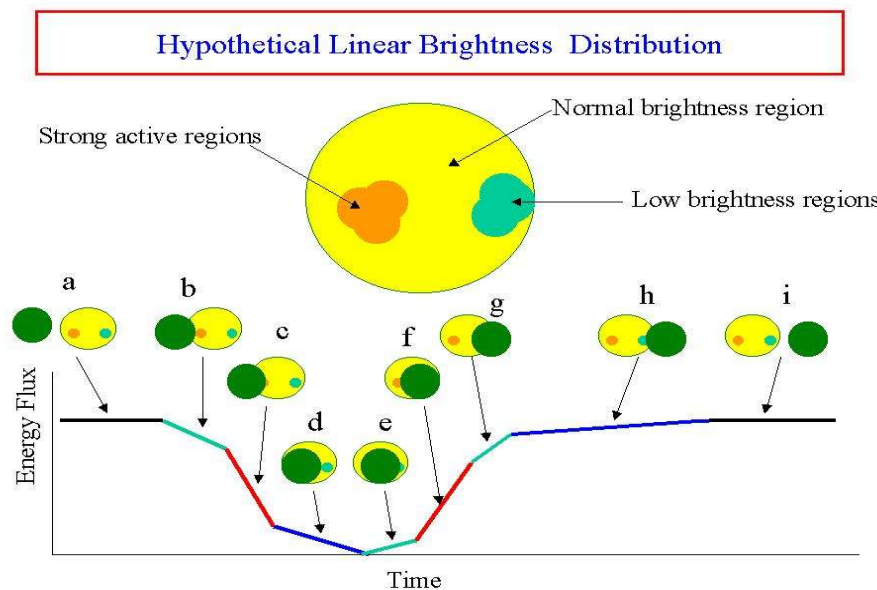


Figura 2. Questa figura illustra una ipotetica distribuzione non omogenea di brillantezza superficiale della corona solare. Sulla Corona, che ha una brillantezza superficiale media tipica (zone gialle) sono ipotizzate delle regioni più brillanti (zone arancioni) e zone meno brillanti (zone verdi). Quando la luna inizia ad eclissare il Sole, progressivamente vengono coperte, e ovviamente poi scoperte, delle parti di Corona che contribuiscono con intensità diversa al flusso totale misurato dal radio telescopio. Ciò si manifesta sulla curva del flusso in funzione del tempo con dei tratti a pendenza diversa, che rendono la curva generalmente asimmetrica. La copertura di regioni molto attive causa delle brusche riduzioni del flusso, così come la loro scoperta provoca repentini aumenti (vedi tratti rossi del grafico). Al contrario copertura e scoperta delle zone poco attive risultano in variazioni del flusso più blandi (zone blu del grafico). Quando le zone peculiari, più attive e meno attive, sono completamente coperte o scoperte le variazioni del flusso sono quelle tipiche, prodotte dalla brillantezza media della Corona.

Sulla base di quanto appena affermato, risulta di estrema importanza eseguire un confronto accurato tra il flusso energetico misurato durante l'eclisse e quello della Corona non eclissata. Dato che le parti più esterne dell'atmosfera solare sono soggette a notevoli variazioni di flusso, su scala giornaliera e sub giornaliera si è deciso di ricavare un flusso medio coronale per mezzo di osservazioni eseguite nei giorni precedenti e seguenti il giorno dell'eclisse. Per mezzo delle figure di interferenza registrate durante i due giorni prima ed i due giorni dopo l'eclisse (figura 3), è stata ricavata una figura di interferenza media che è stata utilizzata come riferimento nel confronto con il flusso rilevato durante l'eclisse.

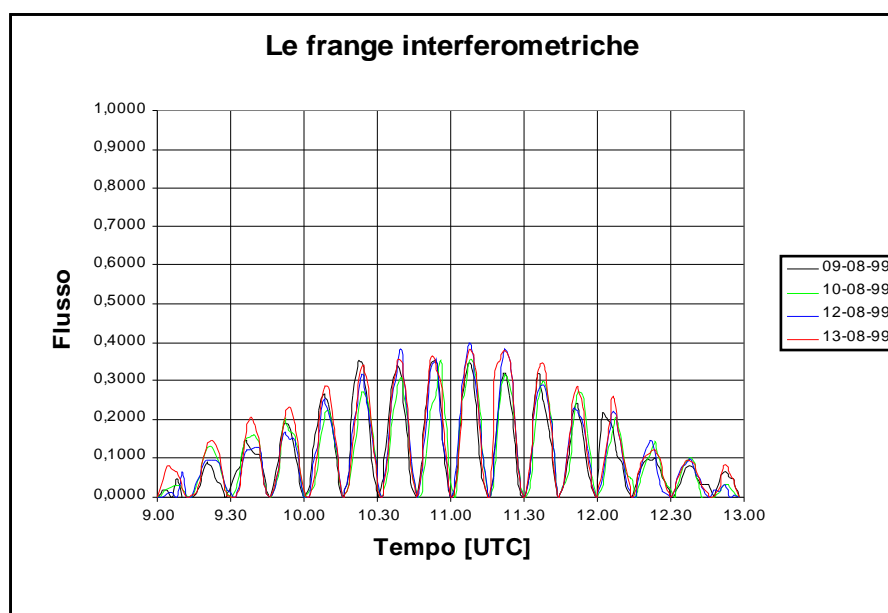


Figura 3. Come in figura 1, ma per i flussi dei giorni precedenti e seguenti l'eclisse del 11 agosto 1999.

La fluttuazione della radiazione coronale dei giorni a cavallo dell'evento è stata molto piccola e ciò ha permesso di ottenere un riferimento piuttosto robusto. La fluttuazione è stata misurata tramite la deviazione standard dei flussi, integrati ad intervalli di due minuti, misurati nei quattro giorni prescelti. La scarsa variazione del flusso di quei giorni ha destato un po' di sorpresa, visto che il nostro astro si trovava nei pressi del massimo del suo ciclo di attività che ha un periodo di undici anni. Anche il numero di macchie presenti sulla Fotosfera era molto ridotto in quei giorni. Il confronto tra il flusso del giorno dell'eclisse e quello di riferimento è stato eseguito al calcolatore mediante semplice rapporto tra le due curve, si è così ottenuto il flusso relativo.

$$\text{Flusso relativo} = (\text{Flusso misurato nel giorno dell'eclisse}) / (\text{Flusso medio dei giorni scelti come riferimento})$$

Uno dei problemi incontrati nel confronto è stato quello della notevole indeterminazione relativa dei rapporti eseguiti nei pressi delle zone di minimo delle figure di interferenza. In quelle regioni gli errori di

misura sono molto più grandi dei flussi e tali errori si propagano nei rapporto tra i flussi producendo delle incertezze inaccettabili, perciò tali regioni sono state scartate e, durante l'analisi, sono stati trattati solo i flussi prossimi ai massimi delle figure di interferenza. Al fine di verificare l'esistenza di disomogeneità nella brillantezza superficiale della Corona solare, si è confrontato il flusso relativo con quello previsto da un modello molto semplice di eclisse parziale. Il modello usato ipotizza che la Corona solare abbia una brillantezza superficiale omogenea e costante e che la riduzione del flusso durante un'eclisse sia semplicemente dovuta alla riduzione della superficie solare visibile da Terra. Il risultato del confronto viene presentato in figura 4.

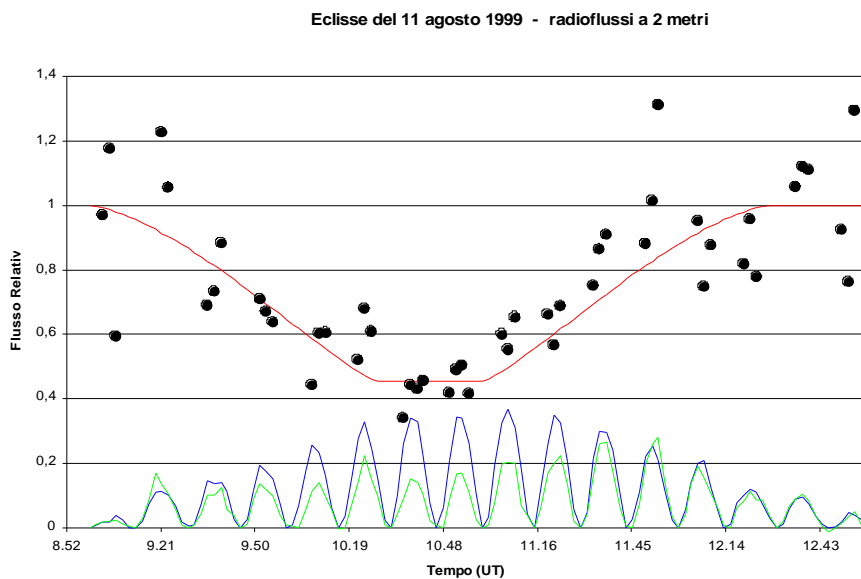


Figura 4. In questa figura viene sono riportati: la curva teorica di diminuzione del flusso relativo nell'ipotesi che la Corona solare abbia brillantezza superficiale uniforme (curva rossa). I valori del flusso relativo (punti neri) calcolati in base alle misure eseguite durante l'eclisse e nei giorni precedenti e seguenti lo stesso, vedi testo. Sono inoltre sovrapposte le figure di interferenza prodotte dall'interferometro nel giorno dell'eclisse (curva verde) e quella media dei giorni a cavallo dell'evento (curva blu).

In rosso è riportata la curva teorica di riduzione del flusso relativo prevista dal modello, mentre i punti neri sono i valori del flusso relativo calcolati in corrispondenza di massimi delle figure di interferenza; al grafico sono inoltre sovrapposte le figure di interferenza osservate: in blu quella del flusso medio ed in verde quella rilevata nel giorno dell'eclisse. Si noti che le osservazioni, punti neri, si distribuiscono attorno alla curva rossa. È inoltre importante notare che esiste una notevole dispersione di punti neri attorno alla curva rossa, soprattutto all'inizio e alla fine della stessa dove gli errori di misura sono maggiori a causa dei bassi valori anche di flusso massimo, prossimi alla soglia rilevamento dell'interferometro. Al fine di valutare quantitativamente la consistenza tra il modello e le osservazioni, è stato eseguito il test statistico denominato "chi quadrato", dal quale si deduce che non è possibile rigettare l'ipotesi assunta dal modello, tenendo conto dell'errore di misura di cui sono affetti i dati raccolti. Quindi i risultati ottenuti portano ad una Corona solare poco attiva, con brillantezza sostanzialmente omogenea e assenza di regioni particolarmente attive. Sulla base di questa deduzione, il flusso

coronale rilevato durante l'eclisse è semplicemente funzione delle dimensioni angolari della Corona e della Luna, quindi è possibile determinare le dimensioni angolari, ma anche quelle lineari, nota la distanza Terra-Sole, della Corona solare. Il minimo del flusso radio misurato dall'interferometro durante l'eclisse si è avuto alle ore 10:42 UT ed il valore, rispetto a quello di riferimento, era del $(45\pm 5)\%$. Questo dato porta ad una stima delle dimensioni della Corona solare pari a 1.35 ± 0.06 la dimensione della Fotosfera, cioè circa un milione di chilometri di raggio, e ciò è in accordo con la bassa attività solare dei giorni analizzati. I valori qui ottenuti sono in accordo anche con il piccolo numero di macchie solari rilevate e con l'assenza di evidenti disomogeneità della brillantezza coronale.

Osservazioni a 3 cm

L'eclisse osservata tramite il radiometro ha delle caratteristiche molto simili a quelle dell'eclisse ottica. La lunghezza d'onda utilizzata è quella tipica delle emissioni cromosferiche, cioè di quella regione molto sottile a confine tra la Fotosfera e la Corona. La risoluzione angolare dello strumento era confrontabile con le dimensioni del disco solare osservato; in questi casi l'inseguimento dell'oggetto è di capitale importanza per una adeguata registrazione della curva di flusso dell'eclisse. La montatura utilizzata per il sostegno della parabola, auto costruita, pur garantendo buone condizioni di inseguimento ha avuto alcuni problemi di oscillazione a causa del vento abbastanza sostenuto presente nel giorno dell'eclisse, per questo motivo il flusso rilevato presenta un rumore piuttosto accentuato, si veda la frastagliatura della curva riportata in figura 5. Alle lunghezze d'onda del radiometro, e grazie all'inseguimento del Sole, non si è resa necessaria la costruzione di una curva di riferimento per il flusso medio al quale riferire le misure dell'eclisse, infatti è stato sufficiente prolungare le osservazioni alcune decine di minuti prima e dopo l'evento al fine di utilizzare il flusso di quegli intervalli di tempo come riferimento per il calcolo del flusso relativo. La figura 5 mostra il flusso energetico relativo misurato con il radiometro. L'eclisse è iniziata alle ore 09:(17±1) UT ed è terminata alle ore 12:(11±2) UT ed il valore minimo raggiunto dalla curva, durante la fase di massima copertura lunare, è stato di $(9\pm 1)\%$. Analogamente a quanto fatto per le misure eseguite a 2m di lunghezza d'onda, anche in questo caso si è cercato di evidenziare l'esistenza di eventuali zone attive della cromosfera, ma il risultato è stato negativo. Tenendo conto delle incertezze nella misura del flusso, non è possibile sostenere disomogeneità nella brillantezza superficiale della Cromosfera, che si sarebbero manifestate come palesi asimmetrie della curva di flusso relativo. Per quanto riguarda il calcolo delle dimensioni del disco cromosferico, il minimo valore di flusso relativo raggiunto implica il raggio della Cromosfera essere (1.04 ± 0.02) volte quello fotosferico; tale risultato è in accordo con le valutazioni che si trovano in letteratura. Anche in questo caso si è usato il semplice modello adottato per la Corona. Come si può notare facilmente da quanto esposto fino a questo punto, l'eclisse della Cromosfera è molto simile, come tempi e flussi relativi, a quello ottico e ciò è conseguenza della piccola differenza in dimensione tra le due regioni solari.

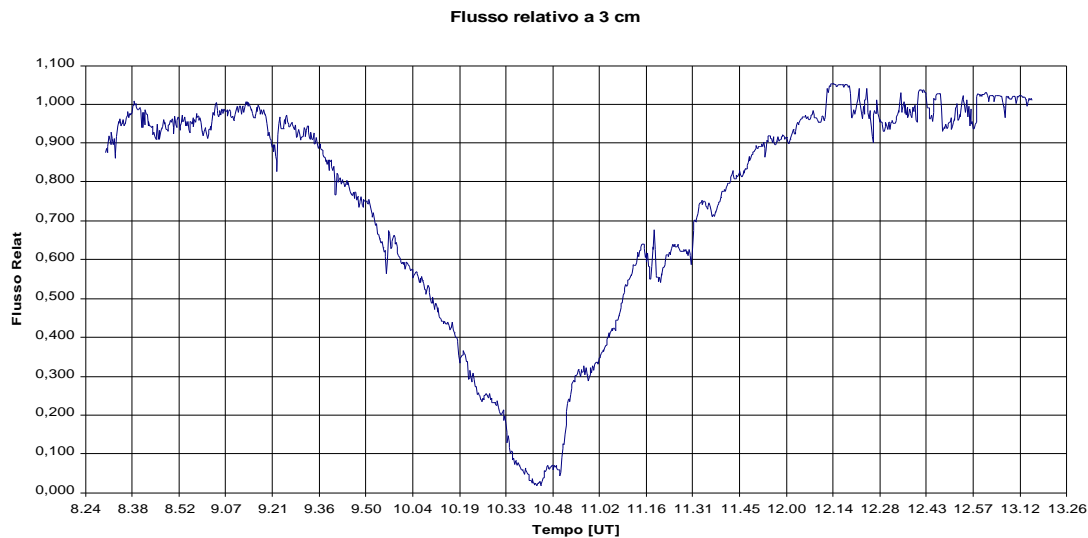


Figura 5. Flusso relativo misurato alla lunghezza d'onda di 3 cm

Osservazioni ionosferiche

Durante tutta le 24 ore a cavallo dell'eclisse, una antenna Yagi sensibile alle lunghezze d'onda di 6 metri e rivolta verso lo zenit ha monitorato il rumore ionosferico alla ricerca di sue eventuali variazioni durante l'eclisse. L'idea che sta alla base di questa osservazione è che ci potessero essere delle perturbazioni degli strati ionosferici della nostra atmosfera a causa della brusca variazione di flusso energetico solare durante l'eclisse. Pur essendo consapevoli della esiguità dello spazio ionosferico interessato dall'eclisse e dei tempi di risposta, alle variazioni di illuminazione solare, tipici degli strati più esterni della nostra atmosfera, si è deciso di eseguire anche questo tipo di osservazione. I risultati ottenuti non sono chiari né facilmente interpretabili. Nella prima fase dell'eclisse, il rumore ionosferico è stato particolarmente elevato ed è calato rapidamente alle ore 09:35 UT portandosi a valori pari ad 1/4 di quelli iniziali. Tale valore è stato mantenuto fino a conclusione della giornata. Come si vede da quanto qui esposto, mentre sembra esserci una concomitanza tra il calo del rumore e le fasi iniziali dell'eclisse, non si osservano correlazioni tra le fasi finali dell'eclisse e il rumore. Il calo del rumore osservato nella prima parte della giornata, quando il Sole era già alto sull'orizzonte, potrebbe essere casuale, non imputabile all'eclisse, probabilmente dovuto ad altre cause.

Osservazioni ottiche

Tramite un celostata, il disco solare è stato proiettato su di uno schermo il quale è stato fotografato a partire dalle ore 09:18 UT fino alle ore 12:06 UT ad intervalli di tempo che sono stati sempre più lunghi a partire dalle fasi centrali dell'eclisse, una foto ogni trenta secondi, andando verso l'inizio e la fine dell'evento,

uno scatto ogni dieci minuti. In totale sono state scattate trentaquattro fotografie che ritraggono la porzione di Sole non oscurata dalla Luna.

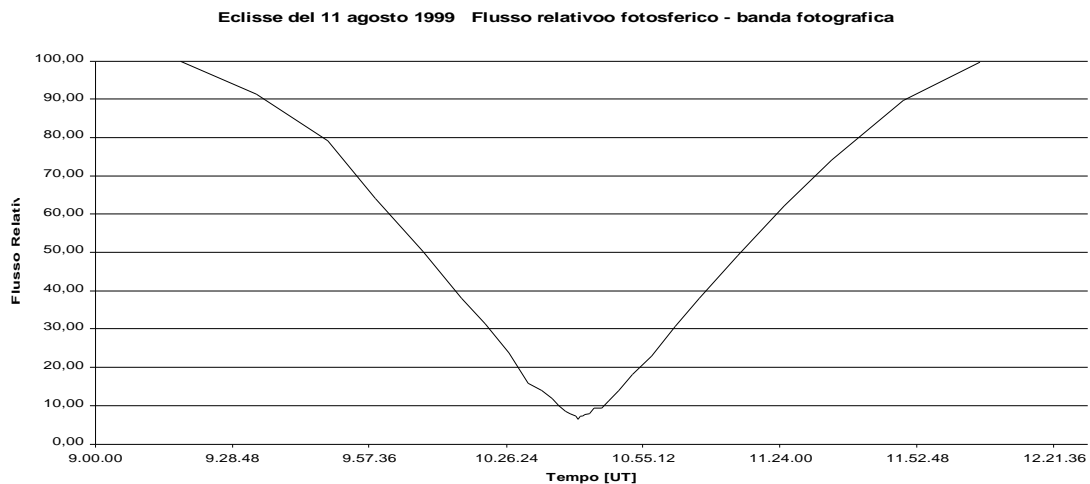


Figura 6. Il flusso relativo fotosferico ottenuto tramite fotografia e pesata delle sagome di piombo

Alcuni accorgimenti sono stati utilizzati per elaborare le immagini con facilità, in particolare si è fatto uso di un cavalletto per il sostegno della macchina fotografica posizionato sempre alla stessa distanza ed altezza dal centro dello schermo e si è provveduto ad eseguire le fotografie secondo una scaletta dei tempi, precedentemente stabilita, con precisione del secondo. Le foto sono state sviluppate come diapositive e le stesse sono state proiettate su di uno schermo avendo cura di ottenere un'immagine solare del diametro di circa una trentina di centimetri. Per ognuna delle immagini si è ricavata una sagoma da un foglio molto sottile di piombo, spessore 1 mm circa, ed ogni sagoma è stata pesata con una bilancia precisa al mezzo grammo. Il peso delle sagome è stato rapportato al peso della sagoma ottenuta dall'immagine solare completa, cioè non intaccata dall'ombra solare. Questo rapporto è equivalente, con incertezza trascurabile, al rapporto tra le aree della porzione di Sole visibile durante l'eclisse e il disco del Sole non eclissato. La brillantezza superficiale della Fotosfera non è né uniforme né costante in quanto esistono zone meno brillanti, quali le macchie ed esiste il fenomeno dell'oscuramento al bordo. Se potessimo considerare la brillantezza della Fotosfera costante ed omogenea, il rapporto tra le aree coinciderebbe con il rapporto tra i flussi energetici. Visto che l'esiguo numero di macchie del giorno in questione, la tecnica della pesatura delle sagome di piombo ha permesso di ricavare i flussi relativi, durante tutto l'evento, salvo le fasi di inizio, fine e massima copertura del disco solare, per le quali l'effetto di oscuramento al bordo non è trascurabile. Il procedimento consente una precisione molto superiore a quella ottenibile tramite valutazione dell'area fotosferica non eclissata per mezzo di tecniche geometriche applicate alle immagini fotografate. La figura 6 mostra la curva di luce, cioè il flusso relativo fotosferico. Si noti che l'eclisse è iniziata alle ore 09:30 UT circa e si è concluso alle ore 12:05 UT circa, inoltre il minimo flusso è stato registrato alle ore 10:41:(30±15) UTC con un flusso residuo pari al (6.5±0.6)% del flusso solare totale. Applicando la correzione per l'effetto di oscuramento al bordo della fotosfera il flusso residuo si

riduce al $(4.8 \pm 0.4)\%$. Come si può notare dal grafico, la fase di diminuzione del flusso e quella di aumento, seguente al minimo, sono speculari rispetto al momento del minimo stesso, ciò è tipico di un disco a brillantezza in prima approssimazione omogenea e costante che viene progressivamente eclissato. Va sottolineato che, dal punto di vista visivo, le fasi di minimo del flusso ottico sono state caratterizzate da una penombra marcata, ben percettibile che ha trasformato l'ambiente in paesaggio dominato da una luce simile a quella crepuscolare, ma non uguale, per esempio a causa delle ombre proiettate dagli oggetti, fioche ma corte, riconoscibili come quelle diurne; ricordiamo che l'eclisse ha avuto luogo nelle ore centrali della giornata.

Osservazioni meteorologiche

Il giorno precedente l'eclisse una perturbazione atmosferica aveva interessato il Friuli Venezia Giulia, portando pioggia e vento. Le condizioni meteorologiche sono rapidamente migliorate nella notte precedente l'evento. La mattina del 11 agosto 1999 sul sito, ove sono state eseguite le osservazioni astronomiche e le misure meteorologiche, soffiava un moderato vento da nord est, secco, che nel corso della giornata si è notevolmente attenuato. Di primo mattino il cielo era variabile con nuvole sparse, prevalentemente cumuliformi, che coprivano il cielo per circa $\frac{3}{8}$, nel corso della mattinata il cielo si è progressivamente trasformato in sereno ed il vento è calato di intensità. Le rilevazioni sono state eseguite ad una altezza di 2 metri dal suolo, prato ben tagliato, in luogo ventilato e al riparo dal Sole, cioè gli strumenti erano stati collocati sotto un albero non molto grande, ma dalla chioma abbastanza alta e folta per produrre una zona d'ombra di diversi metri quadrati. Le misure barometriche sono state eseguite con un barometro aneroidico analogico avente una precisione di 0.5 hPa. Non ci sono state variazioni di pressione durante l'eclisse, almeno tali da poter essere misurate con lo strumento a nostra disposizione. Veniamo ora alla temperatura e l'umidità relativa. La figura 7 mostra le due grandezze in funzione del tempo, inoltre al grafico è stata sovrapposta la curva di luce ottica descritta in precedenza. Al mattino, la variabilità presente non ha consentito un forte riscaldamento, anche a causa del vento che rimescolava in continuazione i bassi strati atmosferici. Successivamente, nelle prime fasi dell'eclisse il Sole era sgombro dalle nubi, nonostante la Luna avesse già iniziato a coprirne una parte, vedi i minuti a cavallo delle ore 09:50 UT, e la temperatura ha iniziato a salire rapidamente, per poi diminuire di nuovo a causa della maggiore e progressiva copertura del disco solare, ad ogni modo la diminuzione non è stata continua, bensì la temperatura si è mantenuta costante, attorno ai 25 C, fino al massimo dell'eclisse, in quel momento la temperatura è diminuita ulteriormente di un grado. Probabilmente la buona ventilazione, il fatto che il Sole non si trovasse alla massima altezza sull'orizzonte e la residua variabilità del cielo sono stati i motivi che non hanno prodotto un calo progressivo delle temperature sino alla fase di massimo dell'eclisse. Dopo il massimo, mano a mano che il Sole, già molto alto sull'orizzonte e praticamente in culminazione superiore sul meridiano, veniva scoperto dalla Luna la temperatura dell'aria è salita rapidamente portandosi sui 27 C seguendo una curva in progressiva crescita, analoga a quella dell'aumento del flusso ottico relativo. In questa fase la ventilazione era ancora molto buona. Per quanto riguarda l'umidità relativa, si noti che non ci sono state delle variazioni significative e ciò è conseguenza del continuo rimescolamento dell'aria a causa del vento. È molto probabile che nella seconda parte dell'eclisse la temperatura sia stata maggiormente influenzata

dall'evento, cioè dalla variazione di irraggiamento solare che non nella prima, dove la presenza di alcune nubi ha reso meno chiaro gli effetti dell'eclisse.

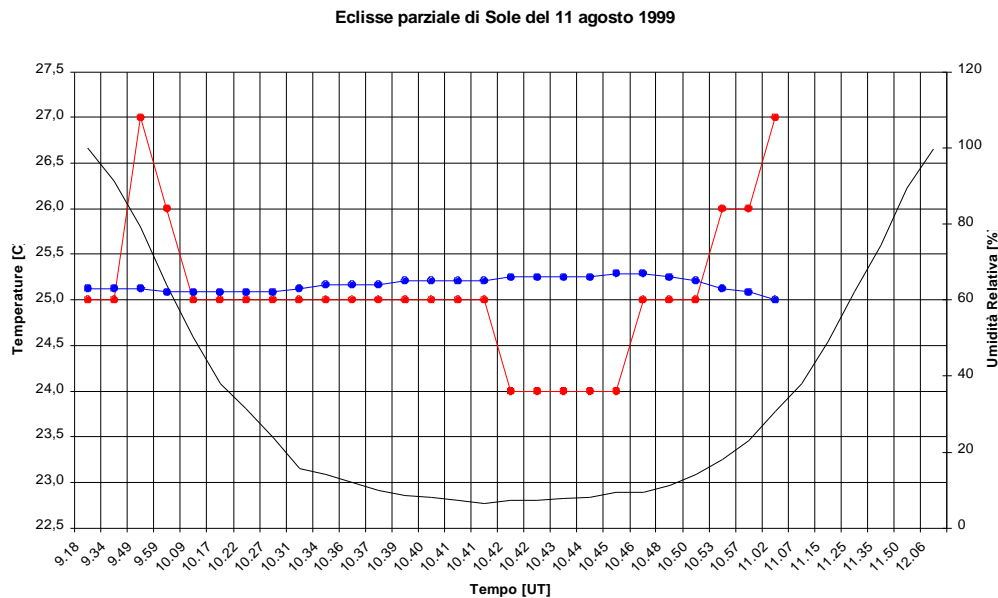


Figura 7. Le osservazioni meteorologiche eseguite durante l'eclisse parziale di Sole del 11 agosto 1999

Conclusioni

Dal punto di vista radio, si è notato che l'eclisse parziale di Sole è ben osservabile anche con strumenti amatoriali e che essa dà la possibilità di indagare dettagli superficiali dell'atmosfera della nostra stella anche con strumenti aventi bassa risoluzione angolare, a condizione che essi siano dotati di una buona precisione e sensibilità nella misura dei flussi energetici. Si è notato che i problemi computazionali, in particolare la propagazione degli errori di misura nei rapporti tra numeri prossimi allo zero, hanno un effetto devastante sull'indeterminazione dei risultati ottenuti. Nel caso di bassa attività solare, è possibile ottenere delle misure delle dimensioni della Corona e della Cromosfera con precisione elevata, se la misura dei flussi nelle fasi di massima copertura del disco solare è sufficientemente accurata. A causa delle maggiori dimensioni della Corona, rispetto alla Fotosfera, l'eclisse osservata nelle onde metriche è sempre parziale ed ha una durata maggiore di quella ottico. Per la Cromosfera, osservazioni sulle onde centimetriche, l'eclisse è molto simile a quella ottico, sia come tempi che come flusso relativo misurato. Con semplici strumenti di indagine del rumore ionosferico non è possibile seguire gli eventuali effetti causati dall'evento sulla ionosfera. Il semplice esperimento della costruzione della curva di luce visibile, tramite l'espedito delle sagome di piombo, dimostra che esperienze di notevole valore didattico possono essere eseguite con poca spesa, rendendo l'eclisse oltre che uno spettacolo naturale anche un momento di crescita scientifica per appassionati e studenti. Le osservazioni meteorologiche delle principali variabili atmosferiche durante un'eclisse di Sole, non sempre portano a dei

risultati facilmente interpretabili, vista il gran numero di eventi meteorologici concomitanti alla diminuzione del flusso energetico proveniente dalla nostra stella.

Crediamo che queste pagine possano essere di stimolo a chi le legge per programmare ed eseguire osservazioni di eclissi di Sole, inoltre auspichiamo che tali osservazioni vengano raccolte in semplici documenti, come questo, e siano diffuse tra gli appassionati. Dedichiamo questo lavoro al nostro amico Massimo De Luca che ha condiviso con noi questa entusiasmante esperienza e che, a causa delle vicissitudini della vita, non è più tra noi.

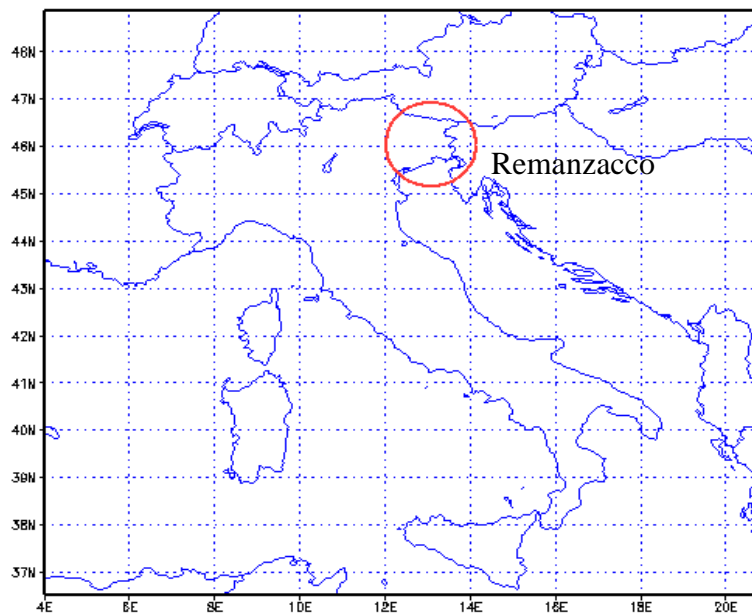


Figura 8. Il sito da dove è stata seguita l'eclisse parziale di Sole del 11 agosto 1999