

Discorsi intorno alle macchie del Sole osservate da studenti in PCTO

Bencini Davide², Benyoucef Ibrahim¹, Ciurea Edoardo¹, Crocini Alessandro², Gonnella Carlo Gregorio³, Guerrini Dante², Iannuzzi Francesca², Landini Clarissa³, Lisanti Pier Maria², Magnolfi Chiara², Meta Ialdise³, Tognelli Lorenzo¹, Xiao Cristiana², Zahid Hasnain²

1 Liceo Scientifico Enrico Fermi di San Marcello Piteglio (PT)

2 Liceo Scientifico Niccolò Copernico di Prato

3 Liceo Scientifico Ettore Majorana di Capannori (LU)

Abstract

Diversi studenti appartenenti a tre licei Toscani si sono cimentati nell'osservazione e misurazione di varie macchie solari, osservate il 15/6/24, scoprendone grazie a specifici software le vastissime dimensioni anche in confronto alla Terra: infatti la macchia AR3712a ha diametro di circa 25000 km, in confronto ai meri 12700 km del nostro pianeta.

Introduzione

Durante l'attività di PCTO nel periodo di giugno/luglio 2024, presso l'Osservatorio Astronomico Montagna Pistoiese di proprietà del comune San Marcello Piteglio, noi, 14 studenti dei licei *Ettore Majorana di Capannori*, *Niccolò Copernico di Prato* e *Enrico Fermi di San Marcello*, abbiamo effettuato uno studio del Sole, tramite osservazioni e misurazioni.

Il Sole è la stella del nostro Sistema Solare, una nana gialla composta prevalentemente da idrogeno ed elio, di un'età stimata di circa 4,5 miliardi di anni [1], di diametro 1 391 400 km [2] e dista dalla Terra 150 milioni di km circa [1]. Al suo interno avvengono reazioni termonucleari, sostenute dall'alta pressione e temperatura (circa 15 milioni di Kelvin) [1] raggiunte nel suo nucleo, che emanano energia radiante, radiazioni elettromagnetiche e calore. Sulla superficie le temperature raggiungono circa 5800 K [1].

Attraverso il telescopio "Coronado", specifico per l'osservazione del Sole e dotato di una lente che comprende un filtro solare H-alpha [3], luce rossa dell'idrogeno adatta ad osservare i brillamenti, abbiamo osservato macchie solari, protuberanze e la sua superficie detta granulazione.

Le macchie solari sono zone più scure e più fredde (3900 K) [4] rispetto al resto della fotosfera, che si generano dall'intrecciarsi del campo magnetico solare; possono raggiungere dimensioni anche superiori a quelle della Terra. Generalmente le macchie si presentano a coppie con polarità magnetiche opposte. Circa ad ogni 5,7anni, la macchia "anteriore", avente la stessa direzione della rotazione solare, avrà sempre una polarità N, mentre la macchia "posteriore" avrà una polarità S. Nel ciclo seguente le polarità si scambiano nuovamente. [5]

Le protuberanze sono getti di gas incandescente che si sollevano dalla cromosfera, l'atmosfera solare più esterna, formando strutture ad arco spettacolari che possono raggiungere altezze di centinaia di migliaia di chilometri. Alcune durano solo poche ore, mentre altre possono persistere per mesi; la loro temperatura si aggira intorno ai 6.000-10.000 K.[6]

I brillamenti sono esplosioni improvvise ed intense che riscaldano e accelerano il plasma nella corona solare, liberando enormi quantità di energia nell'atmosfera solare, sono associati a un rapido cambiamento nel campo magnetico solare e sono la causa del vento solare: emissioni di breve durata di particelle cariche elettricamente e diverse radiazioni, tra cui raggi X, raggi ultravioletti e luce visibile, che vengono rilasciate nello spazio. Quando quest'ultimi interagiscono con il campo magnetico terrestre possono causare disturbi alle comunicazioni radio, interruzioni alle reti elettriche e tempeste geomagnetiche che possono danneggiare i satelliti e dare origine al fenomeno delle aurore boreali, osservabili anche a latitudini molto basse durante le fasi di massima attività solare.

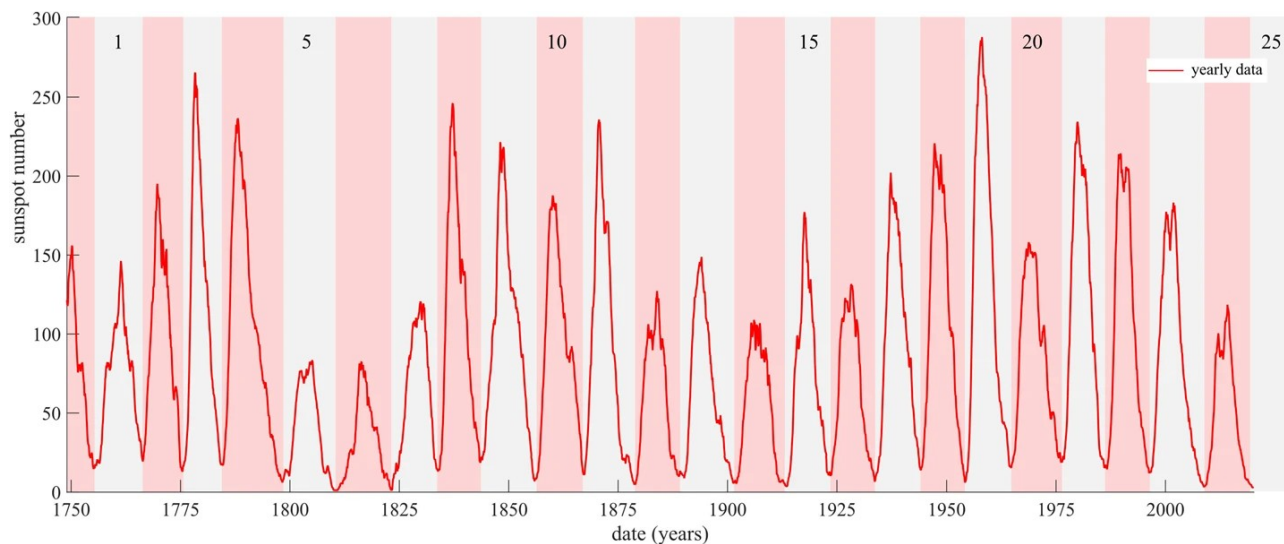


Grafico 1 - Medie annuali del numero delle macchie dal 15 gennaio 1749 al 15 marzo 2020. Fonte: *On the Prediction of Solar Cycles* <https://oadoi.org/10.1007/s11207-020-01760-7>

Lo studio delle macchie solari presenti sulla superficie della nostra stella ci ha permesso di comprendere uno dei tanti fenomeni che la caratterizzano. L'astrofilo tedesco Heinrich Schwabe fu il primo che, attraverso le sue osservazioni, nel 1845 definì la presenza del ciclo solare della durata di 11,4 anni [7]. Il ciclo solare raggiunge un momento di massima attività, nel quale il numero delle macchie raggiunge il suo picco, ed uno di minima intensità in cui il loro numero è quasi nullo. Anche il campo magnetico solare, che genera i poli magnetici nord e sud del Sole, inverte la sua polarità ad ogni ciclo.

Un'ulteriore conseguenza è l'aumento della frequenza di fenomeni come brillamenti, espulsioni di massa coronali e la presenza di aurore sulla Terra. [8][9]. In quest'ultimo anno siamo nel periodo di massima attività solare ed è stato possibile osservare meraviglie come le aurore boreali anche a latitudini molto basse; infatti la sera del 12 maggio 2024 il fenomeno è stato osservato anche presso l'Osservatorio della Montagna Pistoiese, dove sono state realizzate diverse fotografie.

Metodo

Queste attività sono state svolte il giorno sabato 15 giugno 2024 ore 13:00-16:00 UT (15:00-18:00 ora locale). Abbiamo puntato il telescopio sul Sole e osservato in visuale con un apposito filtro e l'utilizzo di un oculare da 26 mm per verificare la presenza di attività solare (macchie [4] e protuberanze [6] da poter successivamente misurare. Prima di procedere con le misurazioni, ci siamo divisi in due gruppi di lavoro per avere un confronto sia con le procedure di acquisizione delle immagini sia per le successive misurazioni ed estrapolazione dei dati raccolti. Pertanto,

abbiamo collegato la macchina fotografica Reflex Canon EOS 50D 15,1 megapixel (2352x1568) a fuoco diretto al telescopio LX200 10" f/6.3 con lunghezza focale totale 1600 mm. Per ottenere delle immagini nitide e dettagliate sui particolari che intendevamo misurare, abbiamo operato una messa a fuoco con un focheggiatore elettronico. Sempre con il fine di disporre dell'immagine migliore possibile, abbiamo scattato molte foto variando il tempo di esposizione da un minimo di 1/20 e un massimo di 1/80, mantenendo fissa la macchina fotografica con impostazione di ISO100. Tale procedura si è resa necessaria anche in considerazione del fatto che, al momento dell'osservazione, le condizioni meteorologiche non fossero favorevoli data la presenza di nubi passeggere. Ciò ha comportato una dilatazione dei tempi di raccolta delle immagini con conseguente abbassamento della posizione del sole rispetto all'orizzonte, introducendo un ulteriore fattore di imprecisione ovvero l'aumento della massa d'aria [10] con un passaggio da 1.17 a 1.62 e altezza sull'orizzonte (azimut) da 58° a 38°[11], qualora questi determinati dal software TheSky6. Sono state scattate 189 foto che sono poi state scaricate sul computer così da poterle osservare per scegliere la migliore in quanto a visibilità. In particolare è stata scelta l'immagine (tempo di esposizione: 1/20) in cui i cinque gruppi di macchie solari presenti al momento dell'osservazione (AR3713, AR3712, AR3709) [12] fossero il più definite possibile in modo tale da avere misurazioni più precise. Tra le macchie individuate sono state misurate AR3713 (come unica), AR3712 (3 del gruppo), AR3709 (come unica). Utilizzando il software SAOImageDS9 Version 8.3 [13] abbiamo usato la funzione contorno e la colorazione per individuare i vari livelli di luminosità. Per trovare il valore ADU [14] da considerare come limite della macchia abbiamo fatto la media aritmetica tra il valore della prima fascia più larga esterna alla macchia e il valore più interno quindi quello più basso. In questo modo abbiamo ritenuto che la macchia vera e propria fosse quella con i valori più vicini al suo interno rispetto a quelli esterni. Per trovare la corrispondenza fra pixel e km è stato misurato il diametro del Sole e abbiamo fatto il rapporto con i dati ufficiali.

15 giugno 2024							
n.	AR	Latitudine [°] S-Sud N-Nord	Longitudine [°] E-Est O-Ovest	Numero di Macchie Solari	Area delle Macchie [MH]	Classe Magnetica	Classe Brillamento X (ora del picco CEST)
1	3702	17 N	91 O	1	30	alfa	-
2	3704	18 S	90 O	-	-	-	-
3	3707	14 S	49 O	-	-	-	-
4	3708	21 S	38 O	2	40	alfa	-
5	3709	10 S	28 O	6	100	beta	-
6	3711	10 S	16 O	3	10	beta	-
7	3712	24 S	23 E	23	300	beta- gamma- delta	Ieri: C2.6 (03:41); C1.9 (05:21); C1.9 (05:31); C2.4 (06:05); M2.4 (06:32); C3.8 (10:33); C6.3 (13:05); C2.1 (19:08); C2.4 (19:31); C2.9 (21:16); C4.0 (23:07); C3.5 (23:53) Oggi: C5.1 (00:11); C9.2 (03:35); C2.6 (05:46); C2.4 (06:45); C3.5 (06:57); C4.4 (07:12); C6.5 (07:35)
8	3713	11 S	35 E	7	100	beta- gamma	Ieri: C2.6 (02:43)
9	3714	14 N	06 O	-	-	-	-
10	3715	17 N	19 E	-	-	-	-
11	3716	11 N	32 E	5	80	beta	-

Tabella 1: nella colonna 1 è riportato il numero progressivo, nella colonna 2 è riportato la numerazione della macchia solare, nelle colonne 3 e 4 vengono riportate la latitudine e la longitudine delle macchie solari, nella colonna 5 è riportato il numero di macchie solari presenti in quella regione, nella colonna 6 è riportata l'area delle macchie in milionesimi di un emisfero

solare, con 1000 MH corrispondenti a 3.043,7 milioni di km quadrati, nella colonna 7 è riportata la classe magnetica e nell'ultima colonna è riportata la classe di brillamento X.

Fonte: Inaf Sorvegliati Spaziali <https://sorvegliatispaziali.inaf.it/bollettino-solare-del-15-06-2024/#:~:text=Undici%20regioni%20attive%20sono%20presenti,e%201%20di%20classe%20M.>

In tabella 2 sono riportate le misure effettuate su 5 macchie solari e convertite in km, nonché la misura relativa al diametro del Sole, così da poter determinare la scala nella immagine acquisita: ogni pixel corrisponde a circa 929,286 km.

Oggetto	Pixel	Km	Km/Px
Sole	748,93	695.970,00	929,286
AR3713	12,73	11.829,81	
AR3709	12,59	11.699,71	
AR3712 a	23,17	21.531,55	
AR3712 b	21,65	20.119,04	
AR3712 c	19,1	17.749,36	

Tabella 2: Nella prima colonna sono indicati gli oggetti che sono stati misurati dalle immagini ottenute, nella seconda colonna le dimensioni in pixel dell'oggetto misurato, nella terza colonna è riportata la dimensione reale in km. Nella quarta è scritto il rapporto km/px in base ai dati sulla dimensione del Sole.

Conclusioni

Le misurazioni delle dimensioni delle macchie solari e il loro rapporto con la terra offrono informazioni sulla dinamica solare e sulle sue potenziali influenze sul nostro pianeta.

In questo studio, abbiamo analizzato i dati relativi alle dimensioni delle macchie solari, utilizzando telescopi specifici per l'osservazione del sole e un programma di elaborazione delle immagini. I risultati mostrano che le dimensioni delle macchie solari variano notevolmente, con alcune che raggiungono diametri di migliaia di chilometri, ben oltre le dimensioni della terra stessa.

Questa variabilità è stata correlata con fenomeni geomagnetici terrestri, evidenziando come la macchie solari più grandi siano spesso associate a tempeste solari di maggiore intensità, che possono influenzare le telecomunicazioni, i sistemi di navigazione e persino le reti elettriche terrestri.

In conclusione, i dati sulle macchie solari ci hanno permesso di comprendere la vastità del sole a partire dall'analisi di una sua minima parte.

L'esperienza acquisita attraverso queste misurazioni ci ha offerto una prospettiva più ampia sul concetto di grandezza e sul rapporto che c'è con il nostro pianeta.

Ringraziamenti

Ringraziamo in primo luogo l'astrofilo e nostro tutor Paolo Bacci che ci ha seguito e guidato durante questo percorso. Ringraziamo i professori Riccardo Ceresia del Liceo Niccolò Copernico, Paolo Palumbo del Liceo Enrico Fermi di San Marcello Piteglio, Stefania Tintori e Lara Bianchi del Liceo Ettore Majorana di Capannori per averci fornito le basi di conoscenza necessarie per condurre queste attività. Ringraziamo Marta Di Grazia, Martina Maestripietri e Tommaso Giovannetti (Nano 0) per averci aiutato nelle osservazioni e nella raccolta dei dati. Ringraziamo, infine, il Gruppo Astrofilo Montagna Pistoiese (GAMP) di San Marcello Piteglio per averci accolti e per aver reso questa esperienza possibile.

Bibliografia

- [1] Nasa sito <https://science.nasa.gov/sun/facts/>
- [2] JPL NASA sito https://www.jpl.nasa.gov/edu/pdfs/scaless_reference.pdf
- [3] Osservatorio Astronomico Schiaparelli
<https://www.astrogeo.va.it/astronom/sole/macchie.htm#:~:text=Si%20tratta%20di%20veri%20e,aggira%20sui%205800%20%C2%B0K.>
- [4] Space Place <https://spaceplace.nasa.gov/solar-activity/en/>
- [5] NASA <https://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Isun3mag.htm>
- [6] Sanetaka Okada, Kiyoshi Ichimoto et al, Temperature analysis of solar prominences by multi-wavelength observations
- [7] The sunspot observations by Samuel Heinrich Schwabe, <https://arxiv.org/pdf/1110.3620>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>
- [8] Long Range Solar Forecast
https://web.archive.org/web/20070219051633/http://science.nasa.gov/headlines/y2006/10may_longrange.htm
- [9] On the Prediction of Solar Cycles <https://oadoi.org/10.1007/s11207-020-01760-7>
- [10] massa d'aria <https://www.scienzagiovane.unibo.it/pannelli/dizionario-pannelli.html#:~:text=L'Air%20Mass%20d%C3%A0%20un,secante%20dell'angolo%20di%20zenit.>
- [11] (1.17-1.62, 58°-38°) dati calcolati tramite il software TheSky6
- [12] (AR3713, AR3712, AR3709)
<https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/2024/06/15/dayobs.html>
- [13] software SAOImageDS9 Version 8.3
<https://answers.launchpad.net/ubuntu/+source/saods9/8.3+repack-1>
- [14] ADU [https://www.coelum.com/articoli/risorse/glossario-alcuni-termini-utilizzati-in-astronomia-digitale#:~:text=ADU%2C%20\(Analog%20to%20Digital%20Unit,in%20un%20fotoelemento%20del%20sensore.](https://www.coelum.com/articoli/risorse/glossario-alcuni-termini-utilizzati-in-astronomia-digitale#:~:text=ADU%2C%20(Analog%20to%20Digital%20Unit,in%20un%20fotoelemento%20del%20sensore.)

Immagini

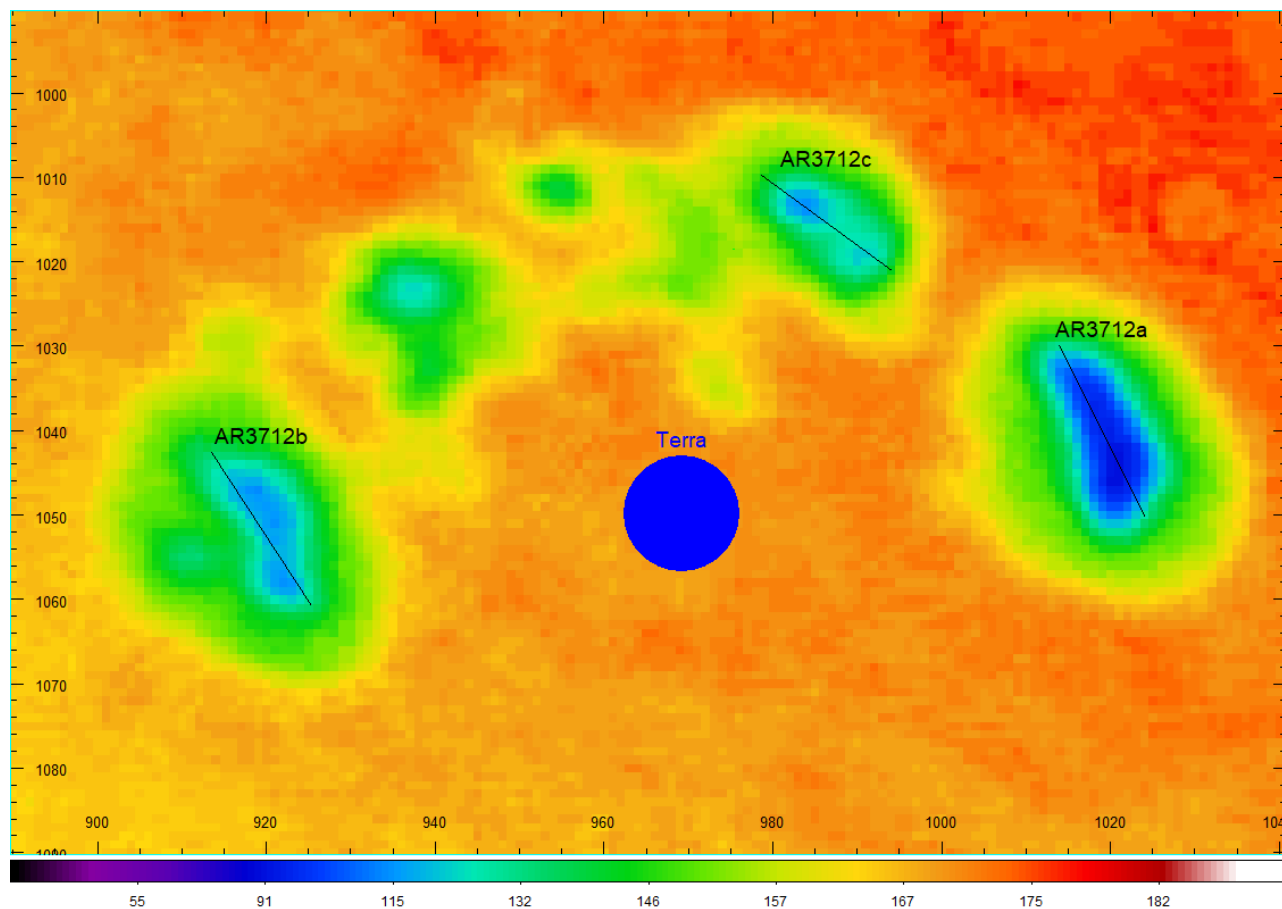


Foto 1- In questa immagine viene rappresentata la regione AR3712 nel giorno 15 giugno 2024: si riesce a vedere la differenza di luminosità grazie alla colorazione. Viene inoltre mostrata la dimensione in scala della Terra.

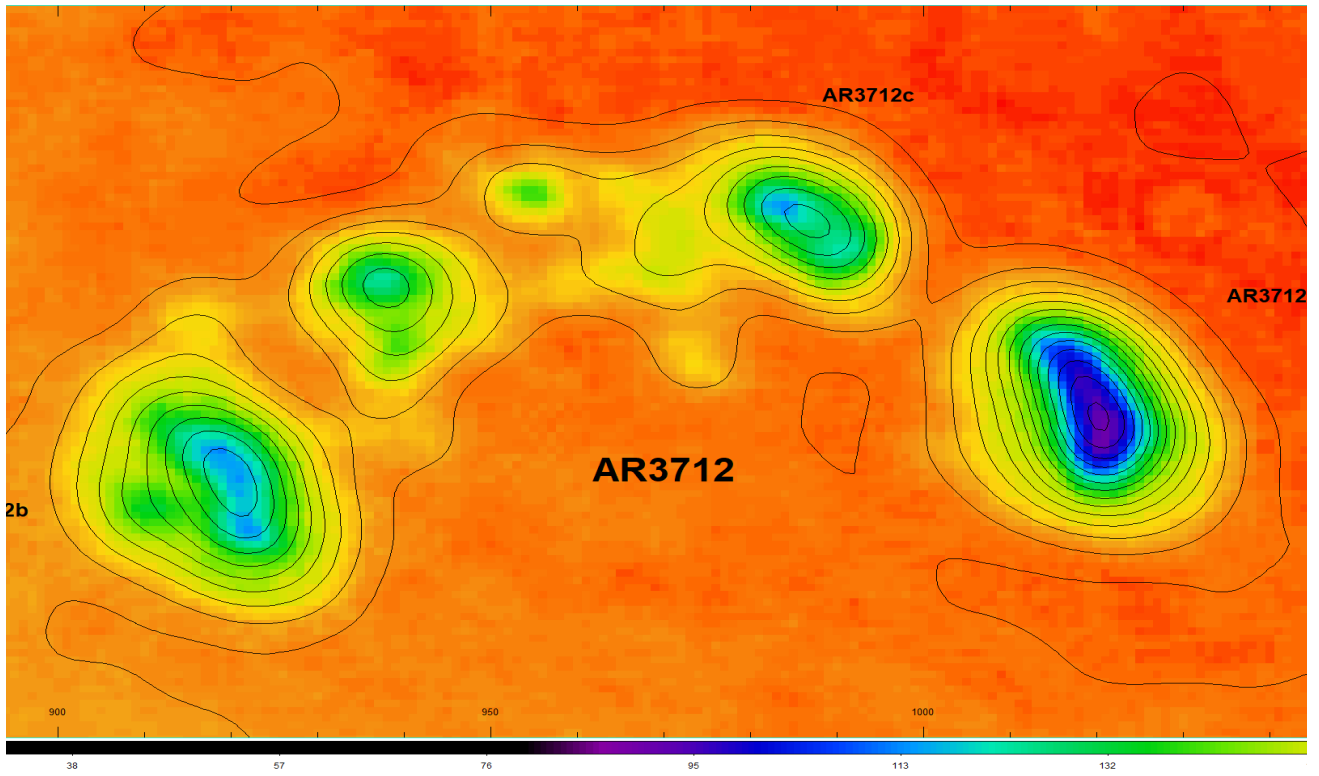


Foto 2 – Viene rappresentata la stessa regione della foto 1 è possibile vedere il sistema che abbiamo utilizzato per la misurazione delle macchie .

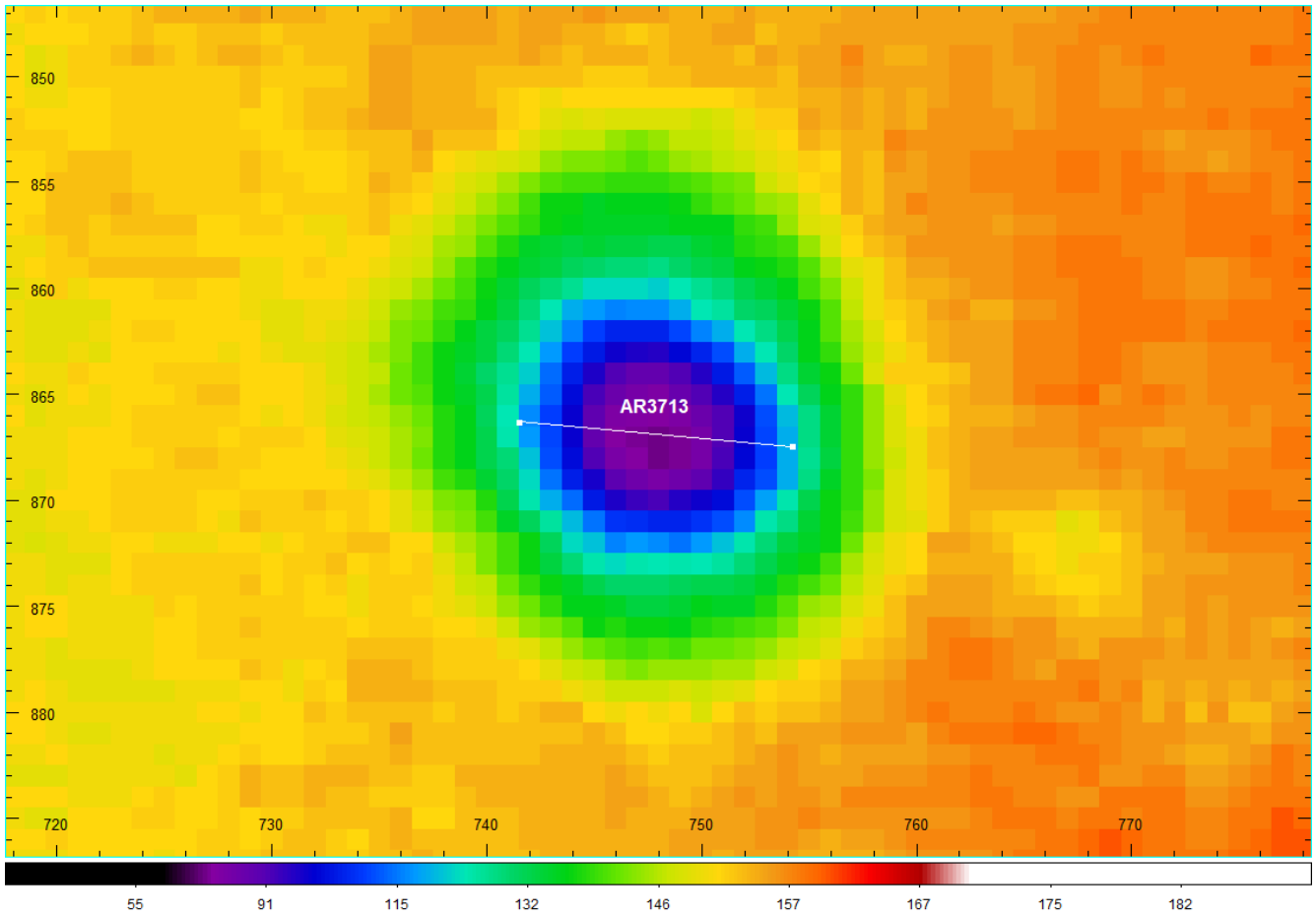


Foto 3 - Con lo stesso tipo di colorazione (seppur con diversa scala) viene rappresentata la regione AR3713, con anche la misurazione effettuata come descritto.

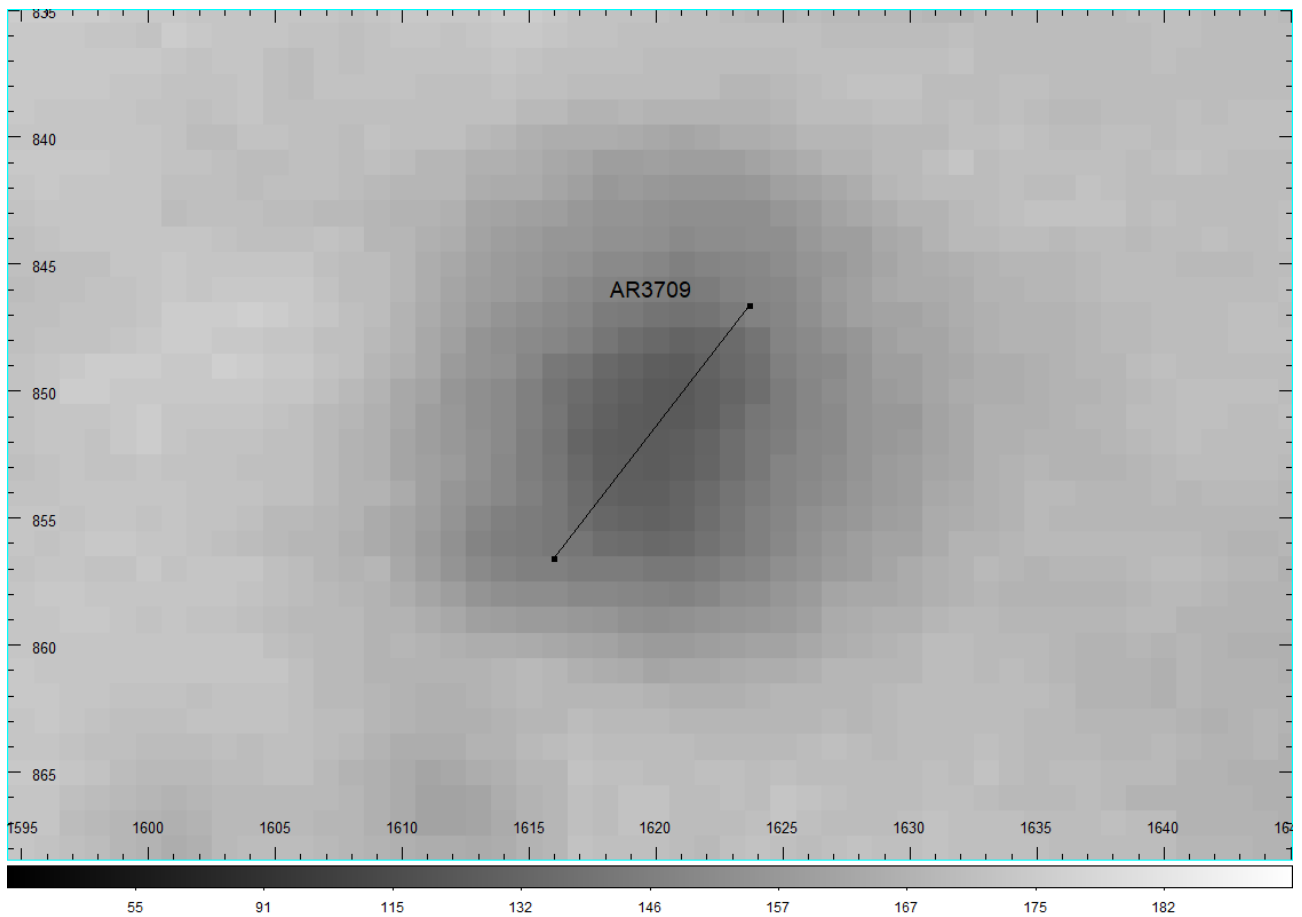


Foto 4 – In questa foto si può vedere come con la colorazione in scala di grigi sia più difficile notare le differenze dei valori però con il vantaggio di avere un punto di vista diverso e più fedele alla realtà.



Foto 5 – Immagine dell'aurora boreale del 12 maggio 2024 ripresa presso l'Osservatorio Astronomico della Montagna Pistoiese.