

Docenti e studenti a confronto su:

**LO STUDIO DELL' ARIA  
E DEI FENOMENI ATMOSFERICI**  
**Osservare e sperimentare nella scienza.**

Firenze, 19-20 aprile 2023

**TERZO CLASSIFICATO**

SEZIONE TESINE TRIENNIO

**MACCHIE SOLARI**

*Studenti*

Carbognani Giorgia - Fileccia Andrea - Giarelli Alessandro - Pizzimento Alessandro

Classe 3M

*Istituto di Istruzione Superiore*  
Liceo Scientifico Ulivi  
Parma

*Docente Coordinatore*  
Vernazza Niccolò

Originale e ben motivata la scelta degli obiettivi del lavoro, che riunisce intelligentemente l'interesse per l'osservazione astronomica e il tema del concorso. Buono il lavoro di preparazione delle osservazioni, la messa a punto della strumentazione, la precisazione delle condizioni di osservazione. L'analisi dei risultati e il confronto con i dati Nasa è condotto con precisione e attenzione critica. Un po' affrettate le considerazioni sul nesso tra riscaldamento globale e attività solare.

# Macchie Solari

February 27, 2023

# Contents

<b>1</b>	<b>Presentazione</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Il Sole</b>	<b>4</b>
2.1	Gli Strati Interni del Sole . . . . .	4
2.2	L'Atmosfera Solare . . . . .	5
2.3	Le Macchie Solari . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Creazione di un Osservatorio Solare</b>	<b>7</b>
3.1	Struttura e Caratteristiche del Telescopio . . . . .	7
3.2	Realizzazione del filtro . . . . .	8
3.3	Osservazione del Sole . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Contare le Macchie: Analisi ed Elaborazione Dati</b>	<b>9</b>
4.1	Il Numero di Wolf . . . . .	11
4.2	Attività Solare nel tempo . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Riscaldamento Globale e Attività Solare</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Biblio e sitografia</b>	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>Ringraziamenti</b>	<b>16</b>
	<b>Appendices</b>	<b>17</b>
	<b>Appendix A Foto e Copie Carbone</b>	<b>17</b>

# 1 Presentazione

Buongiorno a tutte e tutti. Il nostro gruppo, formato da me e quattro studenti, è la prima volta che partecipa alla manifestazione Scienzafirenze. Nonostante lo spavento iniziale dovuto a un titolo così - per noi - complesso e distante, abbiamo infine deciso di partecipare lo stesso giocando sulla parola "atmosfera"!

La fisica dell'aria e dell'atmosfera terrestre sono infatti influenzate largamente da un'altra atmosfera, quella solare, i cui cicli determinano numerosi fenomeni a tutti i livelli, dalle aurore polari ai cambiamenti climatici, dal danneggiamento dei satelliti alla qualità della radiotrasmissioni. Abbiamo pertanto oltrepassato i confini del nostro pianeta e ci siamo diretti verso il centro del nostro sistema planetario.

Gli elementi caratterizzanti dell'atmosfera solare sono, nello spettro visibile, le macchie solari, le stesse che possono essere usate per stimare l'attività del Sole. Ci siamo quindi incuriositi e abbiamo iniziato a pensare a come potere osservarle e contarle... Nell'Aprile del 2022, con la loro classe, eravamo partiti per Firenze alla ricerca di Galileo Galilei, primo osservatore del Sole, e proprio a Firenze saremmo ritornati a parlare di Sole: per dirla con un'espressione un po' gergale, ci sembrava tutto collegato!

Abbiamo quindi deciso di cogliere l'occasione e provare a fare qualcosa. La nostra base di partenza era il vecchio e malandato telescopio di mio padre, usato di rado. Dopo aver sperimentato vari metodi, via via sempre meno fallimentari, siamo pervenuti all'osservatorio poi descritto. Come spesso accade, è stato forse più bello il percorso per giungere alla soluzione che la soluzione stessa.

Nel gruppo ho visto maturare interesse e competenze nuove, sia pratiche che teoriche. I lavori sono stati equamente distribuiti e l'impegno è stato notevole. Il lavoro a me pervenuto è stato sistemato nella parte grafica (da word a latex) e aggiustato qua e là nella forma. Questa tesina è frutto del lavoro di tutti: grazie della bella esperienza!

PS: il nuovo maturato interesse verso la fisica delle Stelle ha portato il gruppo a organizzare un'uscita serale per osservare la cometa C/2022. Naturalmente non siamo riusciti a fotografarla, ma i ragazzi hanno realizzato una bella immagine della Luna, che appiccico qui sotto.



## 2 Il Sole

*Orbene ambizioso Galimberti, le farò un indovinello: se invece di rispondere il sole a una domanda ovvia volesse rispondere altro, cosa risponderebbe? E perché proprio la pannocchia?*

—Liberamente tratto da Rocco Tanica, *Scritti Scelti Male*

Il Sole risplende al centro del suo sistema planetario da ben  $4,603 \times 10^9$  anni, ma solo dal 1600 è diventato oggetto di una seria analisi scientifica per merito del rivoluzionario utilizzo che Galileo Galilei fece del cannocchiale. Grazie ad uno studio sempre più accurato e sistematico, i fisici hanno scoperto che il Sole, per quanto a noi abitanti della Terra possa sembrare un astro speciale, è una stella piuttosto comune tra le stelle della Via Lattea.

Infatti, si suppone che il processo di formazione del Sole sia del tutto simile a quello di una qualsiasi altra stella. Tutto incomincia da una nebulosa, un insieme freddo di gas e polveri, principalmente composto di idrogeno molecolare. A causa della forza di gravità la nube collassa, provocando l'aumento di densità al centro della nebulosa e un conseguente innalzamento della temperatura: raggiunto un valore critico di densità e temperatura, si “accende” il nucleo della stella, generando un flusso di energia verso l'esterno dello stesso nucleo: questa radiazione, entro un certo raggio dal centro del nucleo, contrasta il collasso gravitazionale. La regione di equilibrio tra pressione di radiazione e pressione di gravità è una stella.

A causa delle alte temperature, all'interno del nucleo del Sole avvengono reazioni termonucleari: gruppi di 4 nuclei atomici di idrogeno vengono fusi in una coppia di nuclei atomici di elio, generando energia. L'elio, elemento molto raro sulla Terra, fu scoperto proprio grazie all'analisi della luce proveniente dal Sole (elio, dal greco *helios*, nome che i greci attribuivano al dio del Sole). Quando il Sole avrà finito le scorte di idrogeno nel nucleo (tra circa 5 milioni di anni), inizierà a fondere i nuclei di elio e genererà l'energia necessaria per impedire il collasso. Si formerà così una gigante rossa dalle dimensioni molto maggiori rispetto a quelle precedenti. A sua volta, anche l'elio esaurirà e un altro elemento verrà fuso e trasformato. Questo processo terminerà quando il nucleo presenterà un'alta densità di nuclei atomici del ferro. Allora il Sole inizierà a contrarsi: dopo un processo che causerà l'espulsione di gran parte del materiale di cui era composto, si “trasformerà” in una stella molto più piccola chiamata nana bianca.

In base alla loro luminosità (o magnitudine assoluta) e temperatura le stelle vengono collocate nel cosiddetto diagramma di Hertzsprung-Russel. In Figura 1 vediamo dove si collocano le stelle della via Lattea e la posizione attuale del Sole

Come si può vedere dall'immagine, il Sole si trova nella “sequenza principale”, ovvero la fascia di stelle che percorre diagonalmente il diagramma. Il Sole è classificato come Nana Gialla ed è nella fase più stabile e duratura della sua esistenza. Durante il corso della sua vita il Sole traslocherà da questa fascia per trasferirsi prima nella regione delle giganti rosse (in alto a destra nel grafico), per poi giungere infine allo stato di nana bianca (in basso a sinistra nel grafico).

### 2.1 Gli Strati Interni del Sole

Il sole è formato da sei strati distinti: nucleo, zona radiativa, zona convettiva, cromosfera, fotosfera e corona. Come già accennato, all'interno del nucleo (temperatura di circa 15 milioni di kelvin) avvengono le reazioni nucleari che permettono alla stella di rimanere stabile. Il nucleo si estende per circa  $175000km$ .

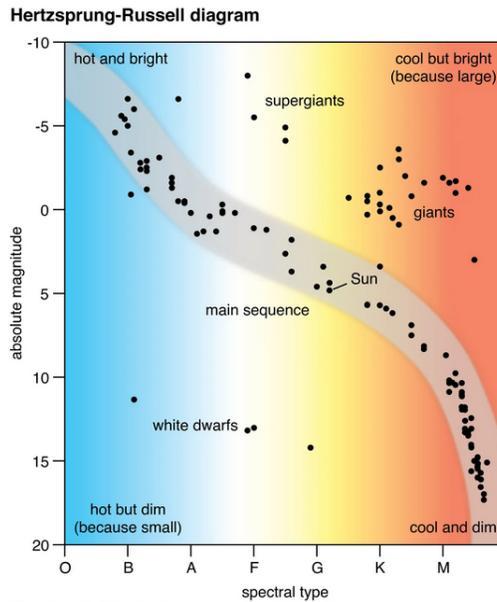


Figure 1: Diagramma Hertzsprung-Russel. da Enciclopedia Britannica

Nella zona radiativa non si hanno reazioni termonucleari, bensì qui l'energia prodotta da esse all'interno del nucleo viene trasferita tramite irraggiamento agli strati più superficiali. Questa zona del sole ha uno spessore di circa  $500000km$ .

Vi è infine la zona convettiva dove l'energia viene trasmessa tramite moti convettivi dall'interno verso l'esterno. Questo strato si estende per altri  $450000km$ .

A causa di un numero elevato di ioni H-, capaci di assorbire i fotoni che formano la luce visibile, non siamo in grado di osservare gli strati interni che compongono il Sole. Cosa dunque osserviamo quando pensiamo di "vedere" il Sole?

## 2.2 L'Atmosfera Solare

La parte visibile del Sole è quella che i fisici chiamano Atmosfera Solare. Questa si compone di tre parti: fotosfera, cromosfera e corona.

La luce prodotta nel nucleo tramite le reazioni termonucleari, a causa dell'elevata densità degli strati interni del Sole, impiega dai 40000 ai 170000 anni per giungere alla fotosfera. I fotoni che escono dalla zona convettiva, quindi, vengono filtrati dall'atmosfera solare e, finalmente "liberi", arrivano al nostro occhio (o al nostro telescopio) dopo circa 8,3 minuti dall'uscita dalla fotosfera. Nonostante nasca nel nucleo, quindi, la luce che noi associamo al sole proviene dalla fotosfera.

La fotosfera si estende per circa  $500km$ ; in questo strato sia densità (circa  $3,5kg/m^3$ ) che temperatura (tra i 4500 e i 6000K) sono di molto minori rispetto all'interno del sole.

Oltre la fotosfera vi è la cromosfera. La cromosfera ha un'estensione di circa  $2000km$  e una temperatura media di  $10^4K$ .

Successivamente si trova la zona di transizione, avente dimensioni molto ridotte. Questa zona fa da ponte tra cromosfera e corona (densità tra  $10^9$  e  $10^{10}$  particelle ogni  $cm^3$  e temperatura compresa tra i 2 e i 4 milioni di Kelvin), nella quale si ha il picco di temperatura di tutta l'atmosfera solare. Man mano che ci si allontana dalla zona di transizione la corona diminuisce di densità.

## 2.3 Le Macchie Solari

Il nostro lavoro si è concentrato sull'osservazione delle macchie solari della fotosfera.

Come si può osservare in Figura 2, dove il Sole appare visto a diverse lunghezze d'onda, nella regione dello spettro elettromagnetico del cosiddetto visibile (immagine in alto a destra) è possibile osservare le caratteristiche "macchie solari".

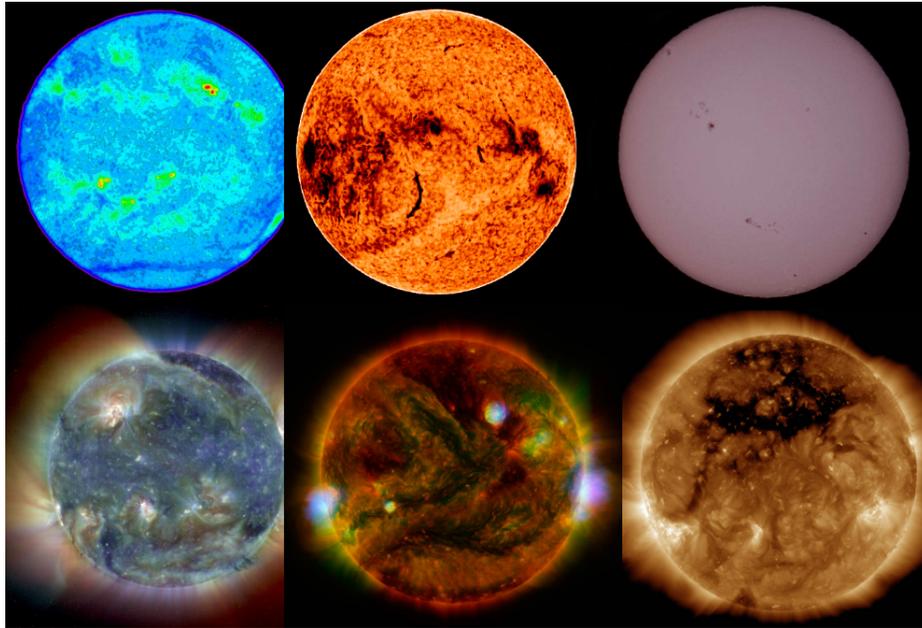


Figure 2: Le prime tre in alto: il Sole visto alle lunghezze radio (*National Radio Astronomy Observatory*), nell'infrarosso (*NASA*), nel visibile (*Foto nostra*).

Le altre tre in basso: il Sole visto nell'UV, nei raggi X e nei raggi gamma (*NASA*)

Le macchie solari sono formazioni scure sulla superficie solare, che nel tempo variano in numero e dimensione. Sono zone con temperatura e luminosità minori rispetto al resto della superficie e appaiono, di conseguenza, scure rispetto alla luminosità dell'ambiente circostante.

La loro presenza è collegata all'azione del campo magnetico. Le macchie sono infatti frutto delle "correnti" magnetiche del Sole, le quali bucano la parte superficiale della stella, formando veri e propri archi magnetici invisibili alla lunghezza d'onda del visibile.

Le macchie solari si compongono di due parti differenti: l'ombra e la penombra. L'ombra è il nucleo della macchia e presenta basse temperature, mediamente  $4300K$ . La penombra è la zona di transizione tra l'ombra e il resto della superficie solare. Le macchie solari inoltre spesso non appaiono singolarmente ma in aggregati più o meno numerosi. Definiamo tali insiemi gruppi.

Alle macchie solari è associata l'analisi dell'attività solare: più macchie sono osservabili e più il Sole è attivo. Tale relazione, la cui origine è tutt'ora frutto di ricerca e studi, permette di avere uno storico sull'attività solare, dai giorni nostri fino a quelli di Galileo Galilei.

Obiettivi del nostro lavoro sono stati:

1. la creazione di un osservatorio in grado di fotografare le macchie solari
2. l'ideazione di un metodo per rappresentarle in modo schematico

3. la comprensione di un metodo per contarle che potesse mettere i nostri dati in relazione a quelli della comunità scientifica
4. la comparazione dell'attività solare con le grandezze fisiche osservabili della atmosfera terrestre, in particolare con la temperatura media

## 3 Creazione di un Osservatorio Solare

Il nostro osservatorio è stato un telescopio dotato di filtro solare autocostruito e di macchina fotografica digitale innestata. In questo capitolo parleremo della struttura del telescopio, delle sue caratteristiche, della realizzazione del filtro per proteggere le lenti dai raggi solari e di come abbiamo effettuato le osservazioni al sole grazie al telescopio.

### 3.1 Struttura e Caratteristiche del Telescopio

Per le nostre osservazioni abbiamo utilizzato un telescopio Meade ETX-90/EC di dimensioni 38x18x22 e focale 1250mm, le cui specifiche sono descritte in Figura 3

#### Specifiche

- Design ottico: Maksutov-Cassegrain
- Diametro dello specchio primario: 96 mm
- Apertura netta: 90 mm
- Lunghezza focale: 1250 mm
- Rapporto focale: f/13.8
- Distanza minima di messa a fuoco: 3,5 metri
- Potere di risoluzione: 1,3 secondi
- Trattamento: Super Multicoating (EMC)
- Magnitudine limite: 11,7
- Ingrandimento pratico massimo 325x
- Dimensioni tubo ottico: 10x28cm
- Ostruzione specchio secondario: 28mm; 9,6%
- Controllore elettronico: 4 velocità su entrambi gli assi
- Materiale del tubo ottico: alluminio
- Materiale del telaio: ABS ad alto impatto rinforzato con alluminio
- Materiale specchio primario: Pyrex
- Materiale lenti correttive: Grado A BK7
- Dimensioni del telescopio: 38x18x22cm
- Peso netto: 3,5 kg
- Peso imballato: 5,6 kg
- treppiede da campo
- Alimentatore originale Meade 220V
- Adattatore 12V
- Confezione originale
- manuale e software

Figure 3: Caratteristiche tecniche del nostro telescopio

La lente (in pirex glass) del nostro telescopio, un Makutsov-Cassegrain, ha diametro di 96mm. Oltre al telescopio abbiamo utilizzato:

- il controller del computer per effettuare le osservazioni del sole
- un treppiedi
- una lente Barlow (Celestron T-Adapter Barlow 1,25"), questa lente aumenta la lunghezza focale senza modificare la qualità dell'immagine.

## 3.2 Realizzazione del filtro

Per procedere all'osservazione del Sole abbiamo realizzato un filtro che proteggesse il nostro occhio e la lente dai raggi solari, altrimenti troppo potenti. Il filtro in questione, di marca Astrosolar, infatti permette il passaggio di solo l'0,001% della luce: in questo modo riusciamo a apprezzare un'immagine nitida e ben delineata della sfera solare. Per la realizzazione dei due filtri mostrati in Figura 3.2 (uno per il mirino e uno per la lente principale) abbiamo seguito i seguenti passaggi.



- Abbiamo ritagliato una striscia di cartoncino nero di lunghezza pari alla circonferenza della lente e altezza di  $2/4\text{cm}$ , successivamente abbiamo attaccato le due estremità del cartoncino e abbiamo avvolto il telescopio.
- Abbiamo ritagliato un quadrato del filtro solare di lato poco più grande del diametro della lente.
- Abbiamo ripetuto il punto 1 con un'altra striscia di cartoncino, lasciandola però leggermente più lunga.
- Per montare il filtro sul telescopio abbiamo inserito il primo cartoncino attorno al telescopio, appoggiato il filtro sulla lente e inserito il secondo cartoncino. In questo modo il filtro rimaneva bloccato tra i due cartoncini. In seguito abbiamo fissato i cartoncini con dello scotch in modo che rimanessero uniti tra loro.

## 3.3 Osservazione del Sole

Per realizzare le osservazioni solari abbiamo montato la macchina fotografica (Nikon D3100) al telescopio utilizzando un adattatore Celestron (T-Adapter Mak).

Procedendo nelle osservazioni abbiamo seguito i sottostanti passaggi:

- Abbiamo puntato il telescopio (appoggiato sul treppiedi) in direzione del sole.
- Utilizzando il mirino abbiamo inquadrato il sole e fatto in modo che si trovasse al centro di quest'ultimo.
- Utilizzando la fotocamera abbiamo inquadrato il sole in modo che si trovasse al centro dello schermo (perché il centro del mirino e il centro dello schermo non coincidono).
- Successivamente abbiamo aggiustato il fuoco in modo da rendere l'immagine più nitida e sistemato la luminosità della fotografia per apprezzare meglio le macchie solari.

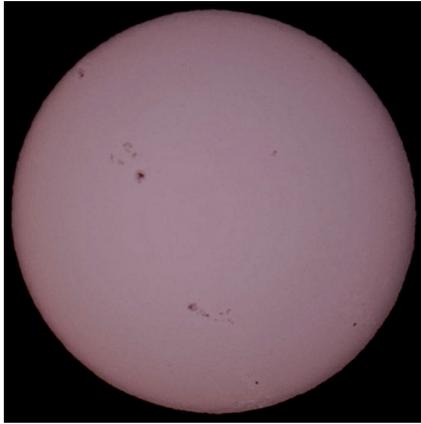


Figure 4: 09/01/2023 - Ore 15:20

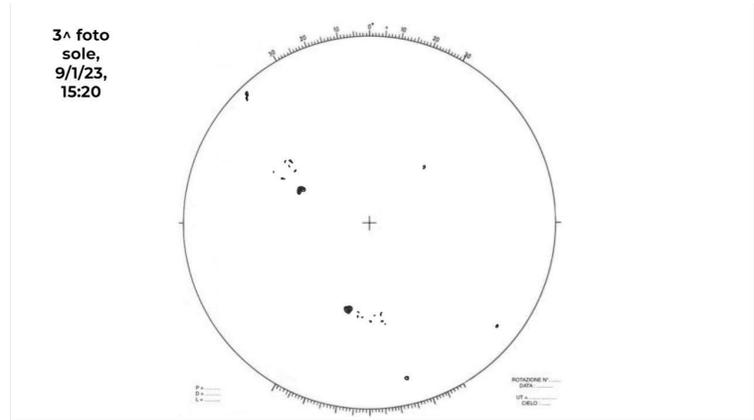


Figure 5: 09/01/2023 - Ore 15:20

A causa della scarsissima presenza del Sole nei mesi di Dicembre-Gennaio nella zona di Parma, le foto raccolte non sono di un numero statisticamente soddisfacente. Ciò nonostante siamo riusciti nel nostro doppio intento di osservare le macchie solari e di confrontare le nostre osservazioni con quelle dell'intera comunità scientifica.

Ogni fotografia è stata ricalcata su foglio elettronico, come una copia carbone. I dati raccolti, di cui mostriamo qui un esempio in Figura 3.3, sono mostrati in Appendice A.

## 4 Contare le Macchie: Analisi ed Elaborazione Dati

<i>Giorno osservazione</i>	<b>Numero macchie solari</b>	<b>Numero gruppi</b>
31/12/2022	16	5
05/01/2023	11	5
09/01/2023	21	6
10/01/2023	18	8
13/01/2023	24	8
14/01/2023	30	9
24/01/2023	22	9
25/01/2023	16	9
31/01/2023	9	5

Tramite il sito “SpaceWeatherLive” abbiamo confrontato questi risultati con quelli raccolti dalla NASA. SpaceWeatherLive è un sito basato su un’iniziativa di Parsec vzw, un’organizzazione belga, che consiste in diversi siti di astronomia, aurore, clima e altre tematiche correlate.

I dati raccolti dal sito di cui faremo utilizzo sono i seguenti:

- Numero giornaliero di macchie solari
- Foto del sole scattate al DSO (Solar Dynamics Observatory)
- Numero di gruppi di macchie
- Andamento dell’attività solare nel tempo e relativi grafici

È risultato evidente, dopo un'approfondita discussione, che i dati raccolti, prima di essere analizzati, andavano posti in relazione a tre criticità:

- influenza della rotazione solare nelle osservazioni
- dipendenza dei dati raccolti dalla posizione geografica dell'osservatore
- dipendenza dei dati raccolti dalla strumentazione e dalla nitidezza dell'atmosfera locale terrestre

Per verificare se la rotazione solare influenzi o meno le osservazioni abbiamo scattato due foto (Figura 4) a distanza di 25 ore e 30 minuti l'una dall'altra:

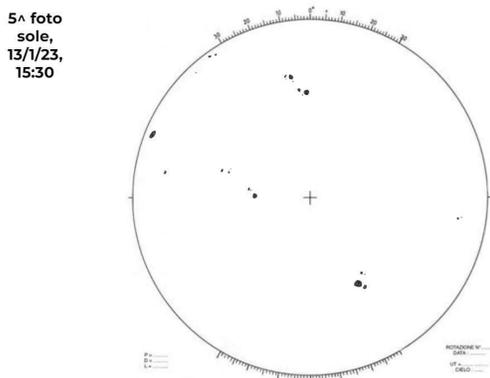


Figure 6: 13/01/2023 - Ore 15:30

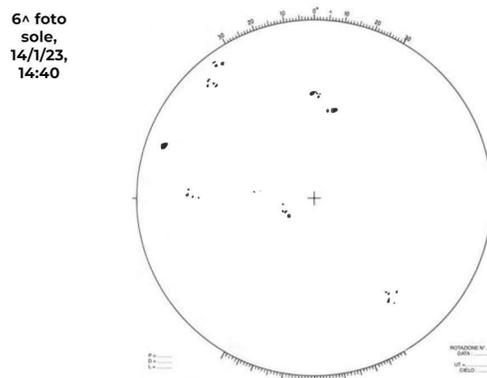


Figure 7: 14/01/2023 - Ore 14:40

Come si può notare, vi è un leggero cambiamento nella disposizione delle macchie. Ne deduciamo che il tempo è un fattore da tenere in considerazione nel confronto dei nostri dati con quelli della NASA.

Il sito SpaceWeatherLive fornisce dati sulle macchie con aggiornamenti che avvengono regolarmente ogni ora. È possibile quindi rendere minimi gli errori relativi al tempo nei seguenti modi:

- Prendere in esame i dati relativi a uno specifico orario e scattare foto che siano concordi con quelle della NASA con un errore di  $\pm 1$  ora.
- Tenere conto nelle osservazioni del dato relativo alla variazione del numero di macchie ogni ora (anch'esso presente su SpaceWeatherLive).

Per ricavare dalle nostre foto il numero di macchie solari e di gruppi abbiamo utilizzato il seguente metodo di conteggio:

- **Numero di macchie:** equivale al numero totale di macchie che si possono contare dall'immagine.
- **Numero di gruppi:** è dato dal numero totale di insiemi di macchie o macchie isolate (cioè senza macchie nei dintorni) che si possono contare nell'immagine. Consideriamo un gruppo ogni complesso di macchie che contenga almeno una macchia. Ciò vuol dire che, nel caso prendessimo in considerazione una macchia isolata, sia il numero di macchie che quello dei gruppi aumenta di 1.

Analizzando i risultati della Nasa relativi al numero di macchie e mettendoli in relazione con quello che abbiamo potuto dedurre visivamente dalle foto, notiamo una grossa discrepanza: il numero di macchie contate, a differenza di quello dei gruppi, non corrisponde. A causa della loro dimensione, tramite le foto che abbiamo ottenuto non è possibile quindi trarre informazioni precise sul numero totale di macchie, ma solo su quello dei gruppi. Ad esempio, il 5 gennaio abbiamo contato 11 macchie e 5 gruppi contro le 103 macchie e i 5 gruppi della NASA.

## 4.1 Il Numero di Wolf

Per calcolare il numero di macchie solari a partire dal valore relativo osservato è necessario utilizzare la formula di Wolf.

Rudolf Wolf fu l'astronomo che nel 1849 propose una formula in grado di stimare il numero di macchie solari indipendentemente dal tipo di osservazione e osservatore. Wolf ipotizzò che per ottenere un numero più preciso di macchie solari fosse necessario integrare i dati di più osservatori possibili, in modo da eliminare l'errore prospettico di osservazione del Sole (ogni osservatore, infatti, vede solo una parte del Sole). Era perciò necessario trovare un modo per compensare la diversa interpretazione delle immagini o le differenti condizioni di ciascun osservatore, la differente esperienza e bravura e la diversa tecnologia utilizzata.

La formula di Wolf recita

$$R = k(10g + s) \tag{1}$$

dove

- $R$  è il numero di Wolf e corrisponde al quantitativo di macchie solari
- $k$  è il fattore osservativo e varia in base al luogo di osservazione, alla strumentazione utilizzata, eccetera.
- $g$  è il numero di gruppi visibili
- $s$  è il numero di macchie visibili

$k$  può essere un numero uguale o superiore a 1. Più alto è  $k$  peggiore è l'osservazione. Il valore di  $k$  di ogni osservatore è calcolato su base statistica e aggiornato mensilmente. Chi lo calcola è l'Osservatorio Reale del Belgio (Royal Observatory of Belgium Av. Circulaire, 3 - B-1180 Brussels, Belgium) sulla base dei dati che ogni osservatore registrato gli invia.

Per calcolare il nostro fattore osservativo abbiamo supposto che i dati provenienti dai telescopi e dai satelliti della NASA abbiano fattore  $k$  unitario. Pertanto è possibile, confrontando i dati dell'agenzia statunitense, ricavare un valore di  $k$  relativo alle nostre osservazioni. Considerando l'esempio del 5 gennaio, sappiamo che

$$103 = k_{\text{Parma},05/01/2023}(10 \cdot 5 + 11) \tag{2}$$

da cui

$$k_{\text{Parma},05/01/2023} = 1,689 \tag{3}$$

Il numero è plausibile considerando quanto specificato sul sito di riferimento dell'Osservatorio Reale del Belgio. Utilizzando le diverse misure e calcolando il valore del nostro fattore osservativo giornaliero, possiamo stimare che

$$k_{\text{Parma}} = 1,46 \pm 0,33 \quad (4)$$

Abbiamo compreso che moltiplicando per un certo fattore osservativo si possono confrontare i dati relativi a osservazioni fatte in diversi luoghi e con diversa strumentazione. Questo metodo di analisi e confronto delle osservazioni viene utilizzato, sin dal 1874, dall'Osservatorio Reale del Belgio e permette di integrare nello studio dell'attività solare tutti i dati raccolti in ogni parte del Mondo. Il catalogo fornito di tutti i dati sul numero delle macchie è reso disponibile dal sito delle SILSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observations).

Un'ulteriore formidabile utilizzo della formula di Wolf permette agli astronomi di oggi di mettere in relazione i propri dati con quelli degli astronomi del passato: è sufficiente stimare un fattore  $k$  relativo ad ogni astronomo. Tale operazione consente oggi di sapere il numero di Wolf a partire dal diciassettesimo secolo, e pertanto di conoscere l'andamento dell'attività solare da almeno 400 anni.

Per poter proseguire, aggiungiamo che il numero di Wolf attuale viene chiamato anche *numero di Wolfer*, dal cognome - casualmente simile - del suo assistente e successore. Wolf usava non contare le macchie troppo piccole. Trovando questa scelta troppo soggettiva, Wolfer migliorò il metodo di Wolf contando tutte le macchie. Il numero di macchie, in questo modo, risultava sistematicamente più alto. Wolfer calcolò che i due "numeri" differivano di un fattore moltiplicativo di 0,6. Oggi si sceglie di contare tutte le macchie, e volendo comparare i due conteggi, si deve dividere i conteggi di Wolf per il fattore 0,6.

## 4.2 Attività Solare nel tempo

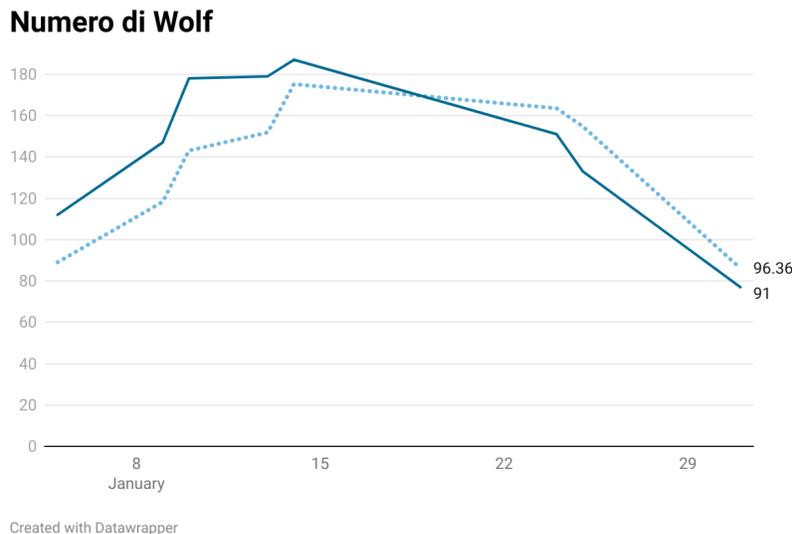
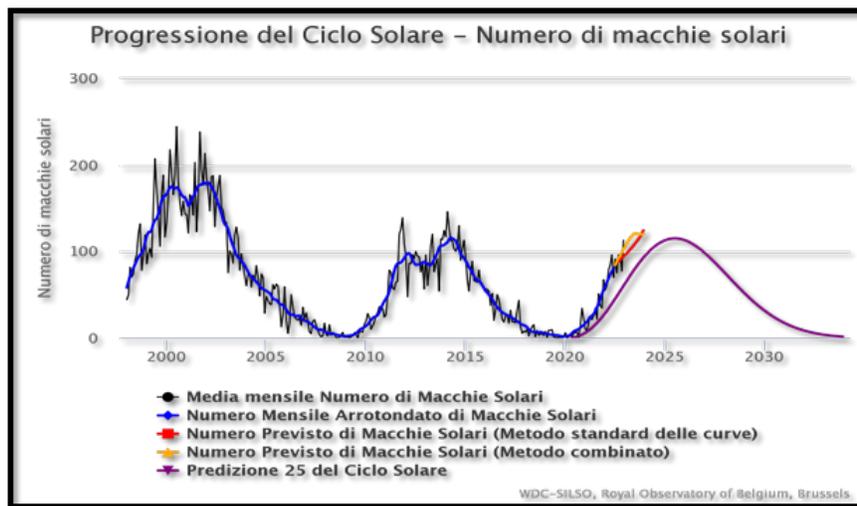


Figure 8: A confronto l'andamento del numero di Wolf da noi calcolato (curva a pallini) con quello elaborato dall'Osservatorio Reale del Belgio <https://www.sidc.be/silso/datafiles> (curva continua)

Tenendo in considerazione quanto detto e raccogliendo le informazioni relative all'osservazione delle macchie, è quindi possibile costruire un grafico (Figura 8) che ne rappresenti il numero in

funzione del tempo. Questo grafico descrive l'andamento dell'attività solare secondo le informazioni che siamo riusciti a raccogliere dal 31/12/2022 fino al 31/01/2023. Sulle ascisse sono riportate le date degli scatti mentre sulle ordinate è riportato il numero di Wolf ottenuto. Apprezziamo gli andamenti del tutto simili, a favore della bontà delle nostre osservazioni, della nostra analisi e della elaborazione dati.

Dall'osservazione delle macchie solari è possibile dedurre un importante quanto in parte ancora misterioso fenomeno: la periodicità dell'attività solare. È infatti grazie all'astronomo dilettante tedesco Samuel Heinrich Schwabe che fu scoperto che l'attività solare del sole varia in maniera ciclica, con periodi di massimo e di minimo. Per 17 anni, dal 1826 al 1843, egli effettuò le sue osservazioni con l'obbiettivo di trovare un nuovo pianeta interno all'orbita di Mercurio. Durante questo stesso periodo si annotò i dati riguardanti il numero di macchie sulla superficie del sole e nel 1843 comprese che l'attività solare avesse un andamento ciclico che si ripeteva ogni 11,1 anni.



Il grafico presenta il numero di macchie solari in funzione del tempo. Il numero di macchie è riportato come la media dei risultati ottenuti mensilmente ed è rappresentato in nero. La parte di grafico blu presenta invece il valore mensile arrotondato di macchie solari. Il grafico giallo e quello viola rappresentano invece le previsioni sulla progressione del grafico.

Dall'immagine si può notare che dal 2010 il numero di macchie è aumentato, intorno al 2015 ha raggiunto il suo periodo di massimo all'interno del ciclo e da quell'anno è continuato a diminuire fino al 2020.

Successivamente Wolf ipotizzò che, preso in considerazione un certo valore del fattore osservativo che tenesse conto della peggiore qualità dei telescopi precedenti, sarebbe stato possibile ottenere informazioni sulle macchie relative alle osservazioni del passato. In questo modo egli fu capace di costruire un grafico con tutti i dati sulle macchie a partire dall'anno 1610 (osservazioni di Galileo).

## 5 Riscaldamento Globale e Attività Solare

È ormai un dato scientifico acclarato che il nostro pianeta si sta riscaldando ad un ritmo ormai ritenuto pericoloso per il mantenimento degli equilibri ecologico e ambientale. Lo scioglimento dei

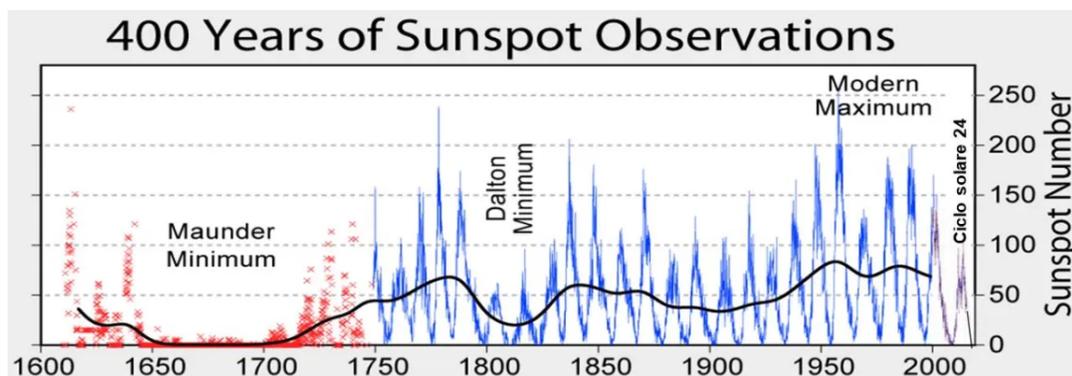


Figure 9: Medie mensili del numero di macchie sul disco solare. Fonte: Wikimedia Commons/Global Warming Art

ghiacciai, l'assottigliamento del ghiaccio artico, la perdita di estensione di quello antartico, e altre numerosissime osservazioni non lasciano ombra a nessun dubbio.

Meno accordo, soprattutto al di fuori della comunità scientifica, si osserva sulle ragioni del riscaldamento globale. Se la comunità scientifica, infatti, non ha dubbi a trovare nell'emissione antropica di gas serra la ragione principale e di gran lunga determinante di questo riscaldamento, tra i decisori politici e l'opinione pubblica fioriscono teorie alternative. Tra le più datate di queste teorie troviamo che si pensa essere l'attività solare causa diretta del riscaldamento terrestre.

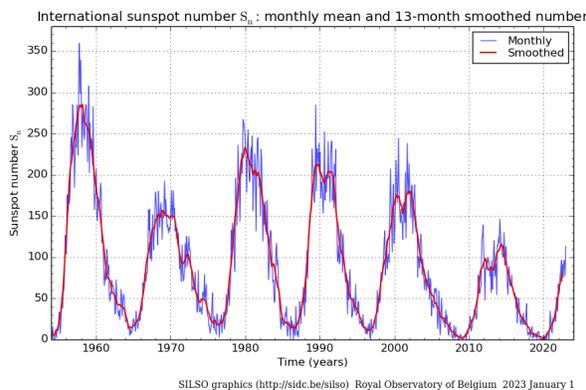


Figure 10: Il numero Internazionale di macchie solari in relazione al tempo dal 1960 ad oggi. Sono evidenti la durata dei cicli di circa 11 anni, i periodi di cosiddetto massimo e minimo solari, un relativo equilibrio tra gli stessi.

Il Sole distribuisce su ogni metro quadrato distante un'unità astronomica (la distanza media Terra-Sole) una potenza di  $1367W$ : una potenza enorme, che si deve dividere per un fattore variabile tra 3 e 5 per poter calcolare quanta effettivamente ne giunge fino al suolo. L'energia solare è l'energia netta positiva che permette la vita sul nostro pianeta: è quindi di primaria importanza, e non è certo da trascurare l'ipotesi che una variazione dell'attività solare possa influenzare macroscopicamente alcune variabili fisiche del clima terrestre.

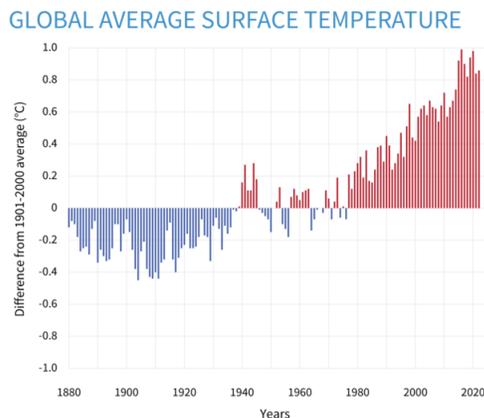


Figure 11: Temperatura media annuale rispetto alla media nel periodo 1880-2022. Fonte: NCEI e NOAA, Climate.gov graph

Per comprendere se tale attività possa realmente causare l'aumento osservato di temperatura, può essere utile paragonare la temperatura terrestre all'attività solare.

Come vediamo in questi due grafici in Figura 6 e 7 non vi è nessuna correlazione tra attività solare e riscaldamento globale. Se possiamo osservare delle oscillazioni nella temperatura simili a quelle solari, non è tuttavia possibile spiegare con la sola attività solare l'aumento di temperatura di circa 1,5 gradi Celsius tra il 1880 e oggi.

Ad esempio, l'aumento esponenziale della temperatura sulla terra dal 2000 in poi non è assolutamente legato all'attività solare, che presenta addirittura valori minori rispetto agli anni precedenti.

Da tutto possiamo escludere che questo notevole aumento della temperatura superficiale media terrestre sia un fenomeno collegato all'attività del sole. Per completezza, richiamiamo invece la correlazione sistemica tra aumento della CO<sub>2</sub> e aumento delle temperatura, come evidenziato nel grafico di Figura 12

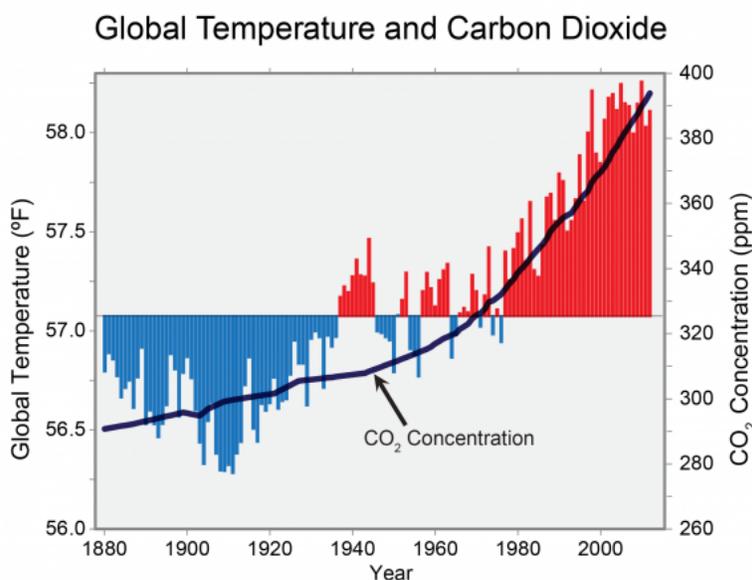


Figure 12: Evidente correlazione tra concentrazione di CO<sub>2</sub> e temperatura media globale

## 6 Conclusioni

Prendendo in considerazione i dati e le analisi riportate in queste pagine, possiamo concludere che:

- Siamo stati in grado di determinare il numero di macchie solari giornaliero, calcolando il valore medio del fattore osservativo  $k$  (variabile per posizione e strumenti di osservazione). I nostri dati sono in accordo con quelli dell'Osservatorio Reale del Belgio, che ogni giorno fornisce il dato ufficiale circa il numero di macchie solari.
- Per determinare tale numero abbiamo assemblato un osservatorio solare composto da telescopio, filtro solare, macchina fotografica.

- Siamo riusciti a creare un grafico che riporti l'andamento dell'attività solare in funzione del tempo
- Confrontando il grafico ottenuto con un grafico che rappresenta le temperature misurate negli ultimi anni in funzione del tempo, abbiamo sottolineato la discordanza tra l'attività solare e il riscaldamento globale. Questi dati hanno una grande influenza a livello culturale. Avendo mostrato che i cambiamenti climatici sono indipendenti dall'attività del sole, portiamo l'attenzione sulla necessità di un'azione dell'uomo rivolta al diminuire le emissioni di Co2.

## 7 Biblio e sitografia

*Tesi di laurea triennale del PHD Stefano Marchesi, INAF*

*Climate.nasa.gov*

*spaceweatherlive.com*

*<https://solar.physics.montana.edu/yypop/Classroom/Lessons/Cycles/Cyclesprint.html>*

*<https://www.astro.oma.be/en/scientific-research/solar-physics-space-weather/>*

*<https://www.spaceweatherlive.com/it/attivita-solare/ciclo-solare.html>*

*<https://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/ssndata.html>*

*<https://www.sidc.be/silso/datafiles>*

## 8 Ringraziamenti

Ringraziamo Stefano per le idee, la disponibilità e l'amicizia; Fulvio Mete per la competenza e la praticità; lo staff di Staroptics di Modena per le dritte tecniche.

# Appendix A Foto e Copie Carbone

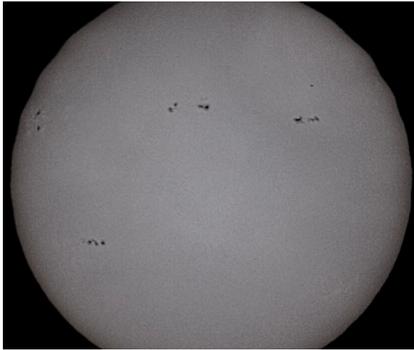


Figure 13: 31/12/2022 - Ore 12:00

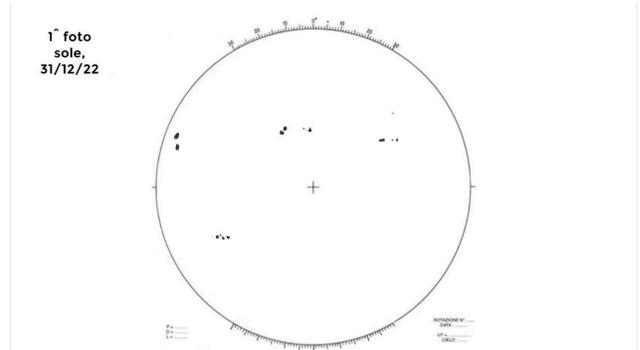


Figure 14: 31/12/2022 - Ore 12:00



Figure 15: 05/01/2023 - Ore 16:10

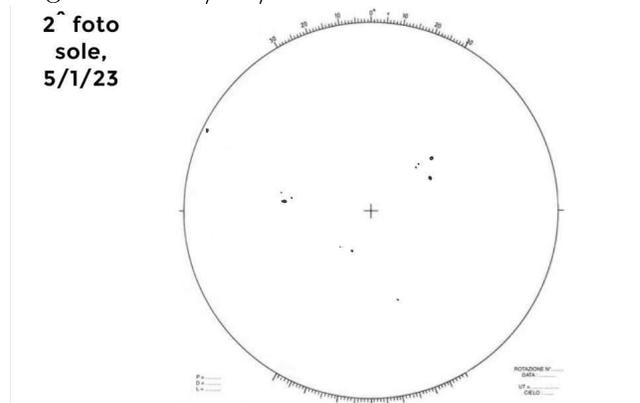


Figure 16: 05/01/2023 - Ore 16:10

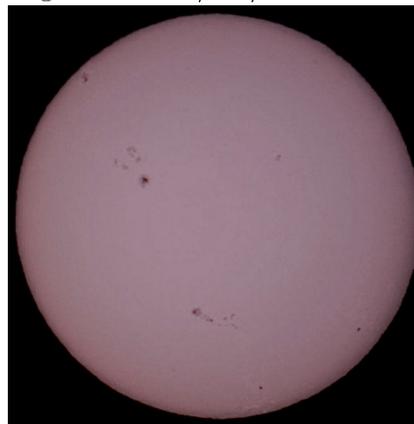


Figure 17: 09/01/2023 - Ore 15:20

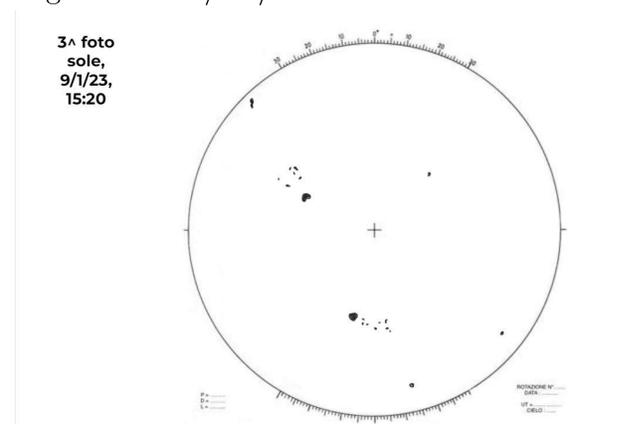


Figure 18: 09/01/2023 - Ore 15:20

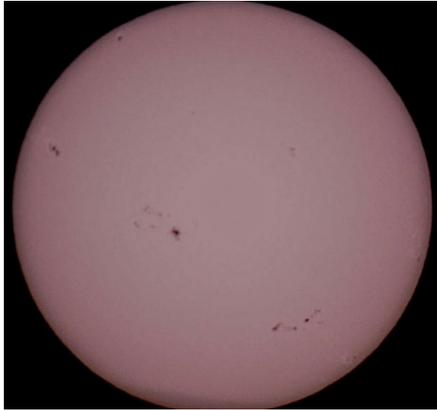


Figure 19: 10/01/2023 - Ore 15:52

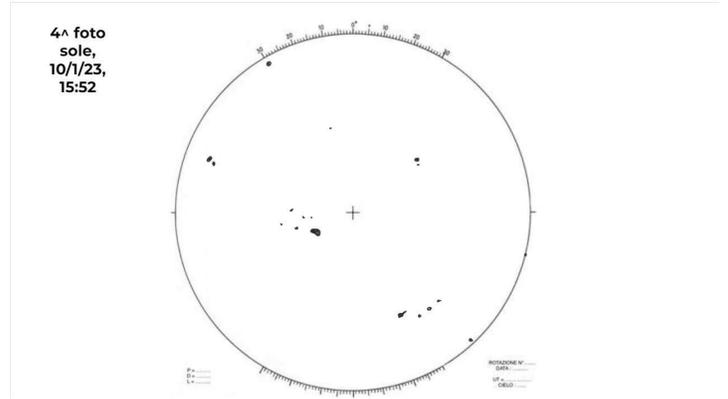


Figure 20: 10/01/2023 - Ore 15:52



Figure 21: 13/01/2023 - Ore 15:30

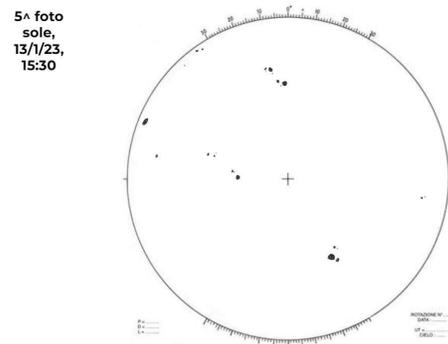


Figure 22: 13/01/2023 - Ore 15:30

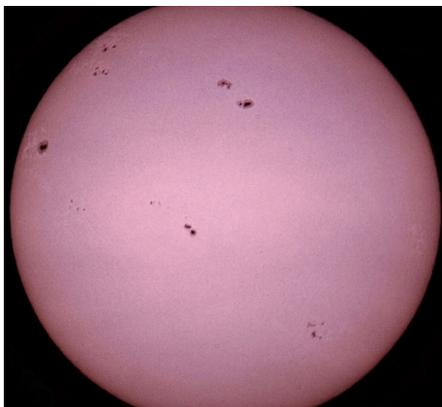


Figure 23: 14/01/2023 - Ore 14:40

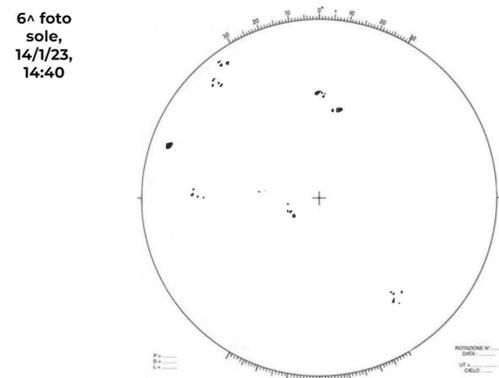


Figure 24: 14/01/2023 - Ore 14:40

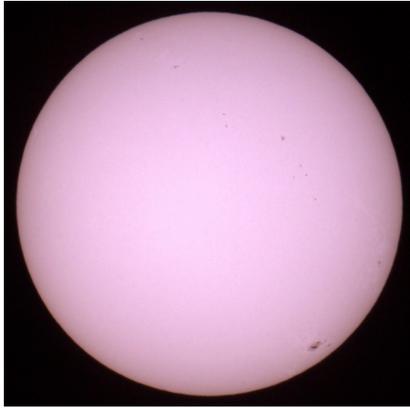


Figure 25: 24/01/2023 - Ore 15:10

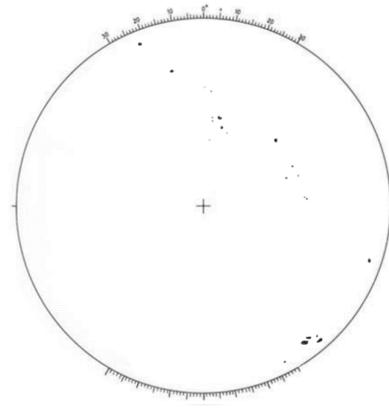


Figure 26: 24/01/2023 - Ore 15:10



Figure 27: 25/01/2023 - Ore 15:50

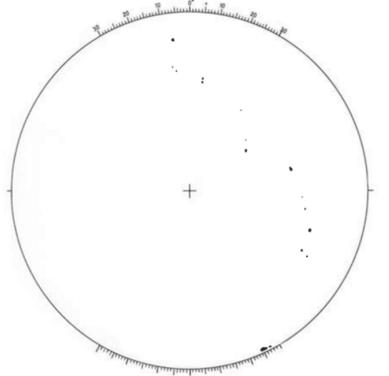


Figure 28: 25/01/2023 - Ore 15:50

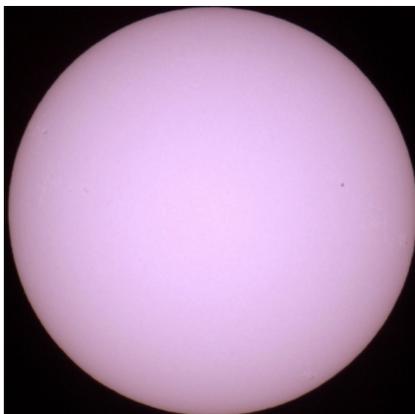


Figure 29: 31/01/2023 - Ore 14:40

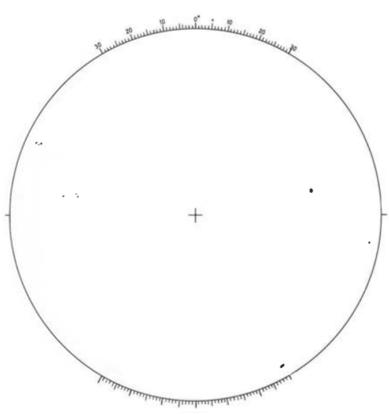


Figure 30: 31/01/2023 - Ore 14:40