

**TESINA PER L'ESAME DI STATO
A.S. 2013/2014**

Astrofisica Sperimentale

di *Sara Marchionni*

L'OSSERVAZIONE SOLARE

Il presente contributo, elaborato dalla **studentessa Sara Marchionni** dell'I.T.I.S. "Giovanni XXIII", è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo **"Stage a Tor Vergata"** - promosso dal MIUR (Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici e per l'autonomia scolastica) e tenuto presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata in due fasi:

Stage Estivo dal 24 al 28 Giugno 2013;

Stage Invernale dal 4 al 7 febbraio 2014

Le attività didattiche previste nel Programma dello Stage sono state realizzate in tre gruppi di ricerca, guidati da docenti dell'Università di Roma Tor Vergata

I responsabili delle attività laboratoriali del Modulo "Materiali per l'Astrofisica Sperimentale"

Prof. Francesco Berrilli

Dott. Dario Del Moro

Dott. Luca Giovannelli

Dott. Roberto Piazzesi



Il Direttore degli "Stage a Tor Vergata"

Prof. Nicola Vittorio



L'OSSERVAZIONE SOLARE

*ITIS Giovanni XXIII
Classe V G
Anno Scolastico 2013/2014*

Sara Marchionni

OSSERVAZIONE SOLARE

Perché l'osservazione solare?.....	pg3
Struttura del Sole	pg3
Le macchie solari	pg5
I telescopi	pg5
L'osservazione del Sole	pg7
In che modo osservare il Sole?	pg8
L'osservazione diretta e le precauzioni	pg8
Fotografia astronomica	pg9
Trattamento delle immagini	pg9
Il Flat Field	pg10
Dal raw alla foto calibrata	pg11
Numero di Wolf	pg12
Bibliografia	pg13

Perchè l'osservazione solare?

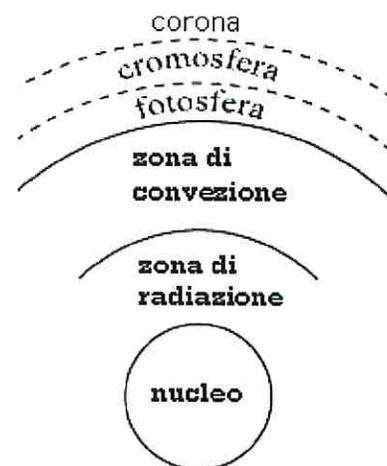
Ho scelto di trattare questo argomento principalmente per interesse personale, risvegliato in seguito anche alla partecipazione ad uno stage "Materiali per l'Astrofisica Sperimentale" presso l'Università di Tor Vergata che mi ha dato modo di approfondire alcuni ambiti di questo affascinante argomento dal punto di vista pratico, con esperienze di laboratorio, oltre che da quello teorico. A tal fine colgo l'occasione per ringraziare la scuola ITIS Giovanni XXIII ed i Professori coinvolti in questa iniziativa per avermi dato la possibilità di partecipare, ed i docenti Roberto Piazzesi e Luca Giovannelli dell'Università di Tor Vergata per la loro ammirevole preparazione, disponibilità e cortesia.

Struttura del Sole

Per poter parlare della sua osservazione è bene prima fare una breve introduzione sulle sue caratteristiche;

Con un diametro di all'incirca 1,4 milioni di km, possiamo suddividere la struttura Solare in alcuni strati concentrici, tenendo conto che essi sono gassosi e tra l'uno e l'altro non esistono limiti netti:

- *Nucleo*, lo strato dove si produce l'energia, attraverso *reazioni nucleari*;
- *Zona Radiativa*, involucro che riveste il nucleo. Gli atomi dei suoi gas assorbono ed emettono energia, ma a causa della temperatura minore del nucleo, non danno luogo ad alcun tipo di reazioni termonucleari;
- *Zona convettiva*, che si estende dalla zona radiativa fino al di sotto della superficie solare. In essa il trasporto dell'energia avviene attraverso *convezione*, movimenti della materia innescati dalla differenza di temperatura, direzionati verso gli strati più esterni in un'azione di continuo rimescolamento;
- *Fotosfera*, letteralmente "sfera luminosa", è notevolmente più sottile degli strati precedenti, ed è il primo strato visibile del Sole. In questa zona sono distinguibili aree luminose e più calde chiamate *granuli*, che vengono costantemente sostituiti da nuovi granuli, per via delle turbolenti correnti ascensionali dei gas. Nella fotosfera possiamo anche distinguere le cosiddette *macchie solari*;
- *Atmosfera esterna*, divisa a sua volta in:
 - *Cromosfera*, costituita principalmente da gas rarefatti;
 - *Corona*, lo strato più esterno; si estende per milioni di km in modo irregolare attorno al Sole e verso l'esterno di esso, i flussi di particelle di gas ionizzati acquisiscono velocità grazie alle elevate temperature, prendendo il nome di *venti solari*.



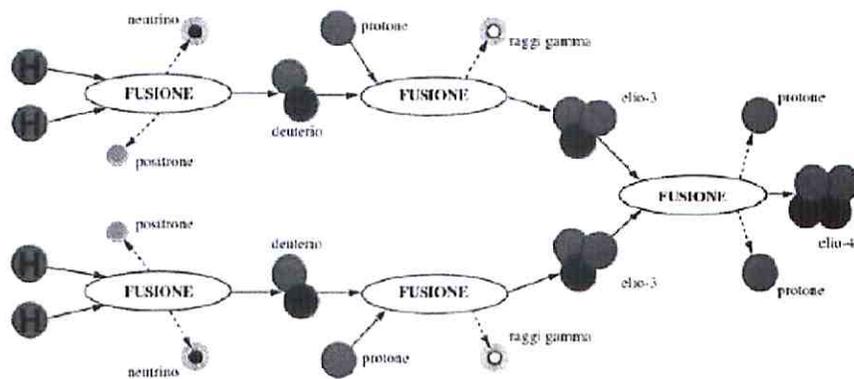
STRATI DEL SOLE
(non in scala)

All'interno del Sole, i gas hanno una densità superiore a quella del piombo e vengono chiamati *plasma*; in queste condizioni gli atomi vengono privati dei loro elettroni, divenendo *ioni*.

Il Sole è alimentato dalle *reazioni nucleari* che avvengono al suo interno, nel nucleo, dove con un processo chiamato "protone-protone" quattro nuclei dell'atomo di idrogeno (protoni) si fondono per diventare un nucleo di elio.

L'equilibrio del Sole, che lo mantiene in uno stato stazionario, è duplice: *idrostatico*, dove l'altissima pressione dei gas scaturendo dall'interno verso l'esterno impedisce la "caduta" per effetto della forza gravità dei diversi strati verso il centro, *termico* poiché l'energia viene prodotta a tasso fisso, nella quantità richiesta.

L'energia che si sviluppa viene emessa sotto raggi gamma (fotoni) che vengono costantemente assorbiti e riemessi dai gas, e anche se essi tendono ad allontanarsi dal nucleo, nella zona radiativa, che poi li trasferisce agli strati più esterni, possono trascorrere



PRIMA FASE: i due protoni si fondono per formare il DEUTERIO; uno dei protoni diventa un neutrone, emettendo un neutrino e un positrone.
SECONDA FASE: il deuterio si combina con un altro protone, rilasciando energia sotto forma di RAGGI GAMMA.
TERZA FASE: il nucleo di elio-3 formato precedentemente si combina con un altro nucleo di elio-3, producendo un nucleo di elio-4 e due protoni, che verranno coinvolti in un nuovo ciclo.

centinaia di migliaia di anni prima che trovino la strada verso la fotosfera.

Sulla superficie del Sole ci troviamo in una situazione dove il campo magnetico diventa forza dominante. E' tuttavia una situazione molto particolare, poiché gli strati superiori del Sole sono sottoposti ad una rotazione differenziale, ovvero all'equatore il tempo di rotazione equivale a circa 25 giorni, mentre ai poli arriva ai 36 giorni. ^[1]

La differenza di velocità trascina letteralmente dietro di sé il campo magnetico solare rigirandolo attorno al Sole, facendo aggrovigliare le linee su sé stesse.

Questo attorcigliarsi del campo magnetico a sua volta causa un ciclo solare, ovvero il passaggio ciclico da un campo dipolare (due poli ben definiti, nord e sud) ad uno multipolare (più poli nord-sud sulla superficie solare); in presenza di quest'ultimo le linee confuse del campo magnetico provocano la comparsa di un gran numero di macchie solari, determinando il così detto periodo di *massimo solare*. Essendo le macchie segno dell'attività solare possiamo affermare che il massimo solare è caratterizzato, per l'appunto, da un periodo di intensa attività del Sole, ed è contrapposto al periodo di *minimo solare*, dove quest'attività tende a diminuire, fino a diventare quasi assente. Tra un massimo e l'altro intercorrono circa 11 anni.

Le macchie solari

"Sono circa a diciotto mesi, che riguardando con l'occhiale nel corpo del Sole, quando era vicino al suo tramontare, scorsi in esso alcune macchie assai oscure; e ritornando più volte alla medesima osservazione, mi accorsi come quelle andavano mutando sito, e che non sempre si vedevano le medesime, o nel medesimo ordine disposte, e che talvolta ve n'eran molte, altre volte poche, e tal ora nessuna."^[2]

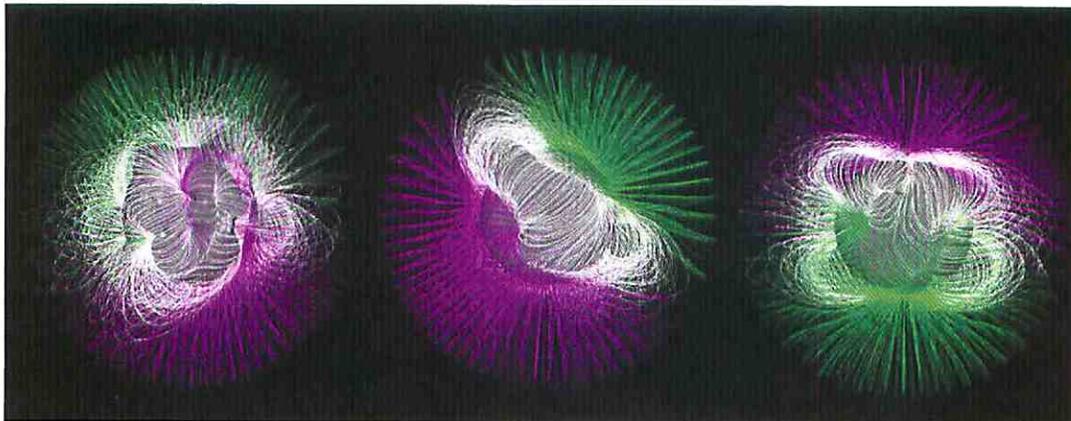
Con queste parole contenute in una lettera indirizzata a Maffeo Barberini (divenuto poi Papa con il nome di Urbano VI), Galileo cominciava per primo a parlare di macchie solari e di una sorta di ciclicità appartenente ad esse.

Le forme e le dimensioni di queste scure depressioni possono variare nel giro di poche ore, e la loro temperatura è di circa 4300 gradi kelvin, contro i 6000 circa – in media- della fotosfera.^[3]

Se osservate dalla Terra, con le opportune strumentazioni, esse presentano al centro una regione molto scura, chiamata ombra, circondata da una zona grigia, la penombra, che appare striata da filamenti chiaro-scuro che sembrano tendere verso il centro.

In realtà le macchie solari sono ancora oggi un grande mistero, poiché non esiste nessuna teoria completa che spieghi nei dettagli la loro nascita, l'evoluzione e la scomparsa. Ciò che si sa è che le macchie sono sede di intensi campi magnetici che affiorano sulla superficie solare, provenendo dalle regioni sottostanti. A causa di essi il flusso energetico che proviene dall'interno del Sole viene momentaneamente interrotto, facendo raffreddare la zona interessata.^[4]

Esse sono un indice dell'attività del Sole, e ad esse, sono collegati fenomeni come l'estensione della corona solare o il numero di aurore boreali visibili dalla Terra.

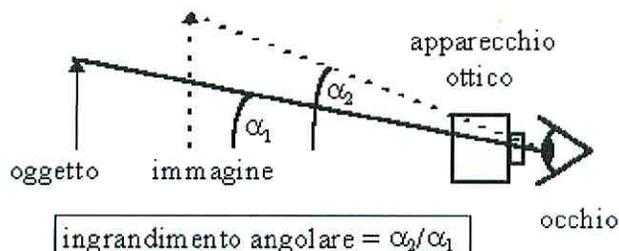


Campo magnetico solare in un video rilasciato dalla NASA.

I telescopi.

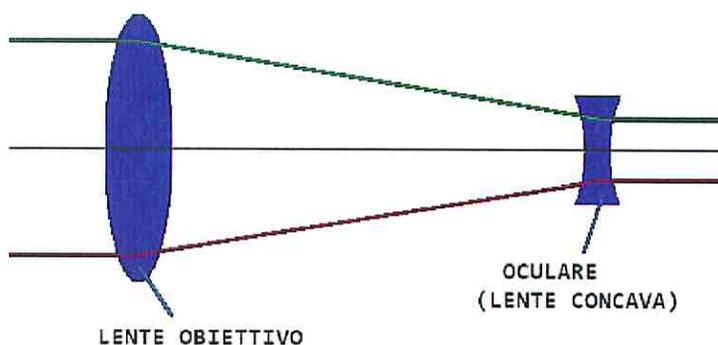
Nel XIII secolo, Ruggero Bacone iniziò a studiare le lenti piano-convesse che otteneva sezionando un sfera di vetro con un piano. I suoi studi portarono alla diffusione delle lenti e dei primi occhiali da vista.^[5] Tuttavia tre secoli dopo, degli ottici olandesi realizzarono con strumenti rudimentali il primo semplice telescopio **rifratore**, rivisto e perfezionato da, come ben si sa, Galileo Galilei, che per primo lo puntò verso la volta celeste.

Un telescopio è un sistema di due lenti che concentra una maggiore quantità di luce nell'occhio dell'osservatore e permette di osservare un oggetto lontano sotto un angolo di vista maggiore, ingrandendolo alla nostra vista. Questo strumento dunque ci permette di riuscire ad osservare un oggetto ingrandito rispetto a come il nostro occhio lo vedrebbe senza esso.



Il telescopio (apparecchio ottico) ci permette di osservare l'oggetto sotto un angolo più grande ($\alpha_2 > \alpha_1$), e quindi di riprodurre al nostro occhio un'immagine ingrandita rispetto a come la si poteva osservare sotto l'angolo ' α_1 ', senza telescopio.

TELESCOPIO GALILEIANO



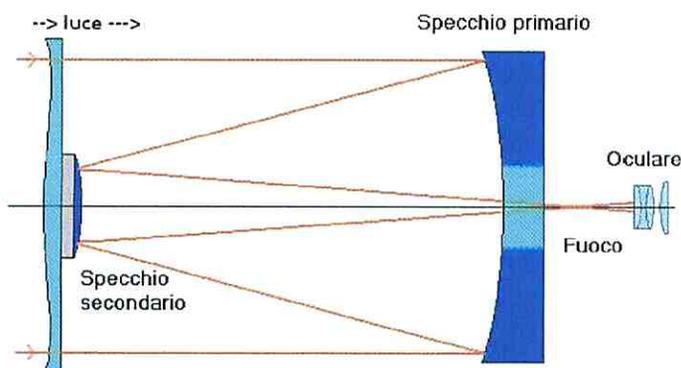
Tuttavia il telescopio di Galileo presentava dei difetti, come quello dell'aberrazione cromatica.

La luce viene concentrata dalla lente convergente dell'obiettivo e i raggi vengono poi deviati paralleli tra loro dalla lente divergente, rendendo così l'immagine visibile dalla terza lente naturale, il nostro occhio, che converge i raggi paralleli sulla nostra retina.

Per risolvere i vari problemi delle aberrazioni (difetti che si presentavano sull'immagine ingrandita) o riuscire ad ottenere immagini con risoluzioni sempre maggiori i telescopi si sono evoluti

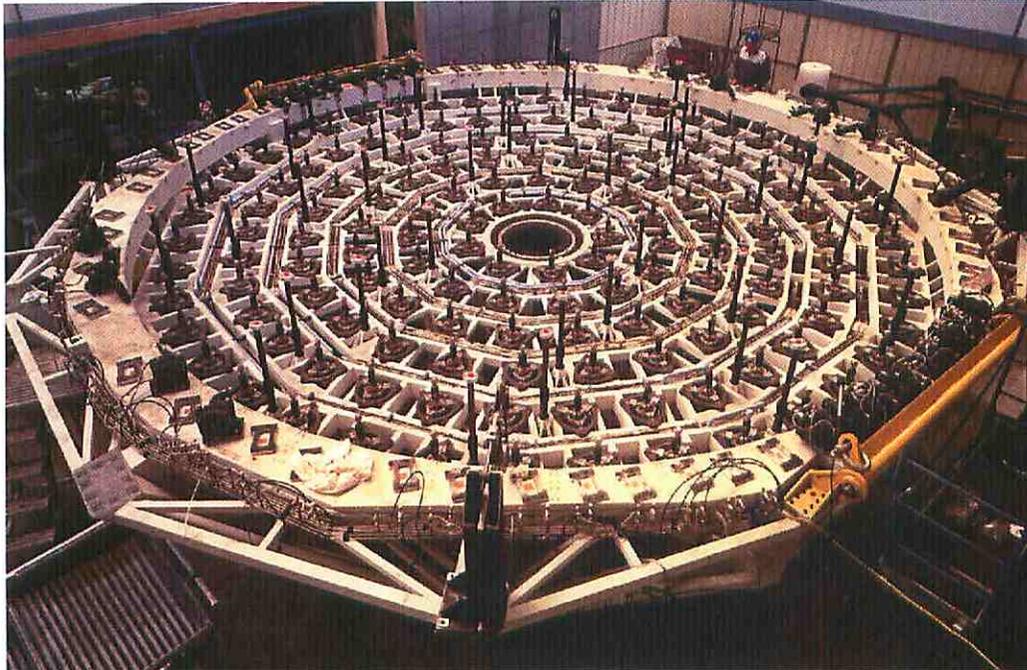
sempre di più, raggiungendo tecnologie sempre più sofisticate, partendo innanzitutto da quella dei telescopi **riflettori**, costituiti da uno specchio primario parabolico che raccoglie la luce riflettendola su uno specchio secondario più piccolo, che la converge poi nell'oculare.

TELESCOPIO RIFLETTORE



Poiché il modo per avere immagini a maggiore risoluzione è di aumentare il diametro dello specchio, questi sono arrivati a raggiungere grandi dimensioni, come i 10 metri di diametro degli specchi primari dei telescopi gemelli Keck I e II (Hawaii), e tecnologie sorprendenti, come

quella degli specchi *deformabili* dove tramite un accurato calcolatore viene modificata a livello di millesimi di millimetro la superficie dello specchio, per correggere la curvatura e turbolenza atmosferica.



Sostegno per lo specchio attivo di una delle quattro unità che compongono il VLT (Very Large Telescope, Cile), complesso costituito da quattro telescopi identici da 8,2 metri di diametro capaci di lavorare simultaneamente come uno solo, raggiungendo la capacità di un telescopio da 16 metri.

L'osservazione del Sole

I telescopi che solitamente si trovano in commercio a prezzi contenuti sono rifrattori kepleriani, differenti dai galileiani solo per l'utilizzo di due lenti convergenti (invece che una convergente e una divergente). A causa di esse, l'immagine che osserviamo dall'oculare risulta capovolta di 180°.

I telescopi possono essere usati per osservare oggetti lontani; vengono spesso puntati sul Sole, stelle o altri corpi celesti, come ad esempio pianeti o satelliti; Nel primo caso l'osservazione della "nostra" stella, può presentare un rischio non irrilevante, soprattutto se praticata da una persona priva di esperienze e materiale adeguato.^[6]

Poiché la lente del telescopio concentra la luce proveniente da un oggetto lontano in un solo punto, osservare il Sole, senza le dovute precauzioni può essere un'azione molto pericolosa poiché il fascio concentrato estremamente luminoso può causare danni permanenti alla retina, bruciandola e causando cecità permanente.

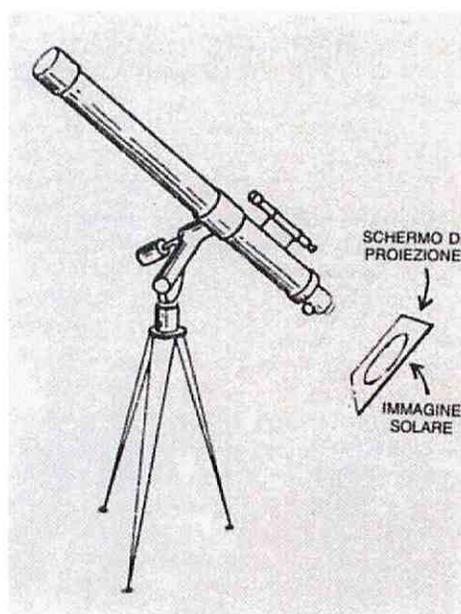
Dunque osservare il Sole, ad occhio nudo e soprattutto con i telescopi richiede precauzioni precise.

In che modo osservare il Sole?

L'osservazione tramite un telescopio del sole può avvenire sostanzialmente in due modi: [7]

- *Osservazione diretta*: consiste nell'osservare l'immagine direttamente dall'oculare; per fare ciò è necessario interporre un filtro solare.
- *Proiezione da oculare*: senza dubbio alcuno è il metodo più sicuro; non vengono utilizzati filtri e l'immagine viene proiettata su un piano (per esempio un foglio) posto perpendicolarmente al piano ottico e parallelamente al piano focale dell'obiettivo (per evitare deformazioni dell'immagine), sostenuto solitamente da un sistema di fissaggio posto sul telescopio stesso.

Non è possibile stabilire quale dei due metodi sia il migliore poiché entrambi hanno i loro vantaggi e svantaggi adattabili a varie situazioni. Nel primo caso l'osservazione è più comoda e l'immagine è abbastanza stabile e luminosa, ma se ad esempio si vuole riprodurre in un disegno ciò che si osserva senza dubbio il secondo metodo risulta più efficace; oltre ad essere sicuro permette di disegnare su foglio i particolari della superficie solare, anche se offre una risoluzione minore rispetto all'osservazione diretta.



L'osservazione diretta e le precauzioni

I filtri solari vengono applicati solo sui telescopi rifrattori, e possono essere:

- *A tutta apertura*, si posizionano davanti al telescopio, sulla lente dell'obiettivo;
- *Da avvitare all'oculare*.

I secondi vengono sconsigliati poiché solitamente di bassa qualità e, dato che vengono avvitati sull'oculare, in prossimità del fuoco dello strumento, le alte temperature possono danneggiarli facilmente.

I filtri a tutta apertura invece possono essere in vetro o in un materiale plastico trattato, come il mylar o l'astrosolar.[8][9]

È importante che siano certificati e di buona qualità poiché non solo devono proteggere l'osservatore dalle lunghezze d'onda appartenenti al visibile dello spettro solare, ma anche dai raggi infrarossi (IR) e ultravioletti (UV), non meno pericolosi.

È inoltre necessario controllare costantemente prima di ogni utilizzo che il filtro non sia graffiato e rovinato, poiché ciò lo renderebbe inutilizzabile, e necessiterebbe dunque di essere sostituito.

Inoltre, il cercatore di cui sono dotati i telescopi, può essere un oggetto pericoloso nel campo dell'osservazione Solare.

Fotografia astronomica

La fotografia astronomica è una tecnica molto interessante, poiché ci permette di "congelare" in un documento dettagli che l'occhio umano non arriva a percepire, neanche attraverso l'oculare di un telescopio, per poi poterli mostrare a terzi o riguardare e analizzare ogni volta che lo si vuole. ^[10]

Per fotografare i corpi celesti possiamo utilizzare vari metodi di fotografia, ma innanzitutto bisogna disporre di una montatura equatoriale del telescopio, dotata di motorino per contrastare il cosiddetto *moto apparente* della volta celeste, che sembra ruotare da est verso ovest, mentre è la terra a compiere il movimento opposto, ovvero da ovest verso est; in questo modo si riesce ad arginare l'effetto della rotazione del campo di vista, permettendo così di mantenere lunghi tempi di esposizione senza cambiamenti nel risultato finale.

Per l'acquisizione delle immagini possiamo usare vari strumenti, come una reflex, una webcam o meglio ancora una CCD.

La CCD è attualmente il dispositivo migliore per ottenere immagini di altissima qualità, ma richiede accurate calibrazioni.

La CCD è un sensore che genera una tensione elettrica variabile in funzione della quantità di luce che lo raggiunge. Grazie poi ad un convertitore analogico/digitale la tensione in uscita dal sensore CCD, trasmessa singolarmente per ogni pixel di cui è formato il dispositivo di acquisizione, viene convertita in formato numerico per essere poi utilizzata dalla rimanente circuiteria o dal computer.^[11]

Trattamento delle immagini

Le immagini riprese, oltre all'informazione corretta, ovvero l'immagine definitiva, presentano dei rumori, ossia imperfezioni dovute al dispositivo, alla temperatura e ai pixel più o meno sensibili alla luce.

Un pixel più sensibile ad esempio, tende a presentare sull'immagine più luminosità di quella che effettivamente arriva su di esso; se nell'immagine che riprendiamo esso è in prossimità di una stella, essa potrà apparirci più luminosa di come in realtà sia.

Inoltre sull'immagine si possono trovare delle macchie scure dovute a dei granelli di polvere depositati sul sensore.

Per ottenere un'immagine *calibrata*, ovvero contenente un risultato corretto, questi difetti necessitano di essere eliminati. ^[12]

L'immagine calibrata si trova con l'equazione:

$$\text{Immagine} = \frac{\text{Raw} - \text{Dark}}{\text{FlatField} - \text{Dark}}$$

- Il *raw* è l'immagine che si cattura con il dispositivo che abbiamo a disposizione, contenente le imperfezioni;
- Le immagini *dark* si prendono allo stesso modo (e alla stessa temperatura) dei *raw*, tenendo però l'obiettivo chiuso da un tappo totalmente nero per

impedire il passaggio di qualunque fotone. Il *dark* ci aiuta ad individuare, e quindi poi eliminare, i pixel caldi (pixel difettosi che danno sempre segnale massimo, indipendentemente dai fotoni che li colpiscono) e il rumore elettronico e termico.

- Le *pose flat field*;

Il Flat Field

Il Flat Field è un'immagine ottenuta illuminando in maniera uniforme il sensore (la stessa luminosità per ogni pixel, per quanto è possibile). Grazie ad esso possiamo osservare le differenze di sensibilità da un pixel all'altro del sensore, nonché le disuniformità date dall'ottica del telescopio e dalla sporcizia (polvere) che si può trovare nei dintorni del piano focale. ^[13]

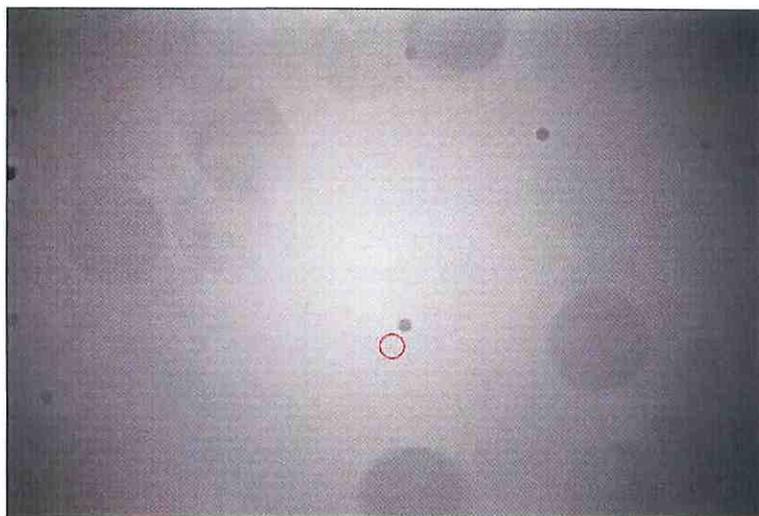
Occorre acquisire una serie di riprese flat field, e combinarle insieme per creare il *Master Flat Field*. Il Master Flat Field altro non è che una media, pixel per pixel, delle varie immagini di flat registrate.

La difficoltà di ottenere un flat corretto è la necessità di trovare un modo efficiente per illuminare il sensore in maniera perfettamente uniforme.

I metodi principali per l'acquisizione sono:

- Lo *sky-flat*, che consiste nel riprendere una porzione di cielo uniforme, solitamente al crepuscolo o al tramonto, che sia abbastanza luminosa ma priva dei gradienti di luminosità dati dalla vicinanza del Sole;
- Il *dome-flat*, in cui invece si punta ad uno schermo uniforme, illuminato da una sorgente luminosa bianca costante.

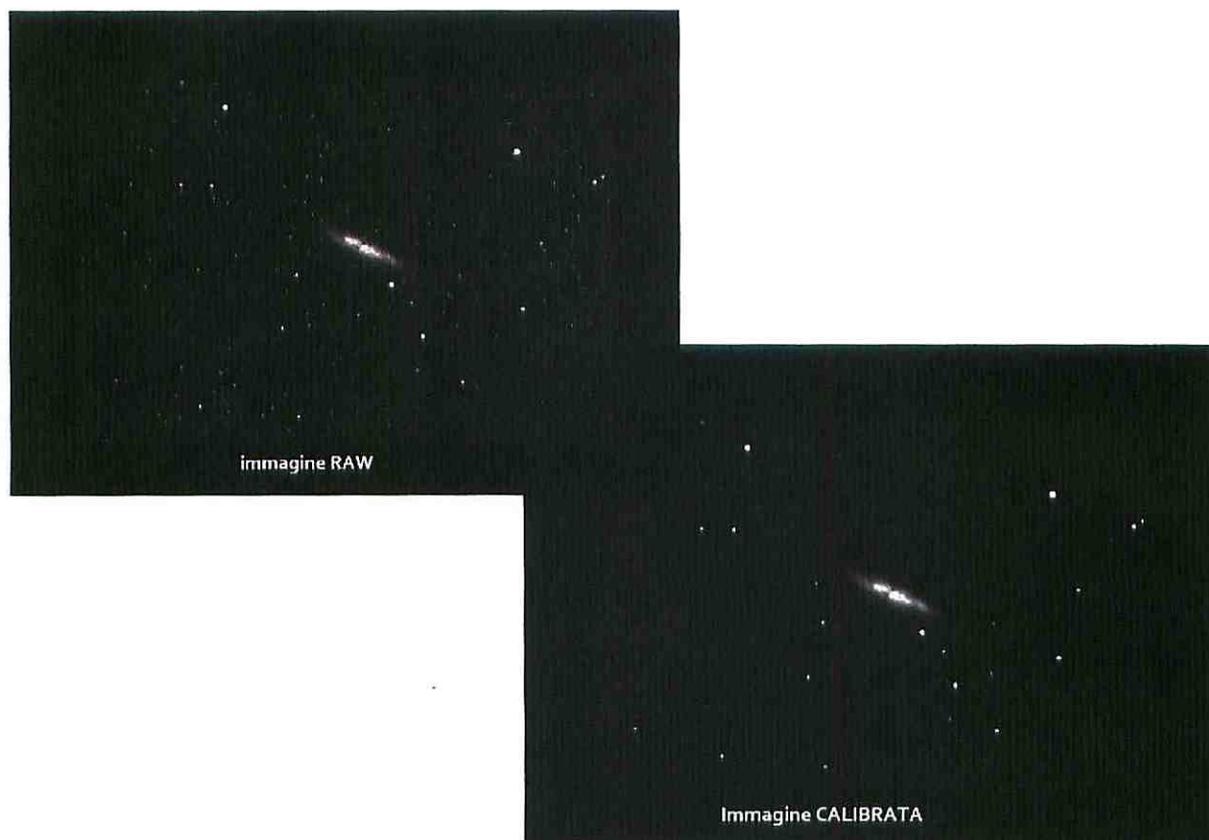
Lo svantaggio (o perché no, il "divertimento") del dome-flat è il doversi ingegnare per ottenerlo, a seconda dell'attrezzatura di cui si dispone.



Un esempio di flat field in cui è possibile osservare le varie gradazioni luminose, i granelli di polvere e alcuni pixel freddi (cerchiato in rosso).

Dal raw alla foto calibrata

Grazie ai software per il trattamento delle immagini che sottraggono i *dark* e dividono i *flat*, secondo l'equazione già indicata precedentemente possiamo osservare la netta differenza tra un immagine *raw* e una *calibrata*, nelle due immagini seguenti.



Possiamo benissimo osservare che l'immagine *calibrata*, priva di tutti i difetti presenti invece nel *raw*, ci permette di distinguere meglio i corpi tra loro, eliminando il rumore che poteva confonderci facilmente e permettendoci di analizzare un'immagine precisa.

Infine, è possibile e soprattutto molto utile lavorare anche con il *contrasto*, ovvero la differenza tra le zone d'ombra e quelle illuminate nell'immagine.^[14]

Più le zone tendenti al bianco saranno ben distinte da quelle tendenti al nero più l'immagine sarà contrastata; anche questo strumento può aiutarci molto nell'analisi.

Numero di Wolf

Il numero di Wolf è un indicatore del livello dell'attività solare; questo parametro ci permette dunque di vedere chiaramente l'evoluzione dell'attività del Sole durante il ciclo solare.

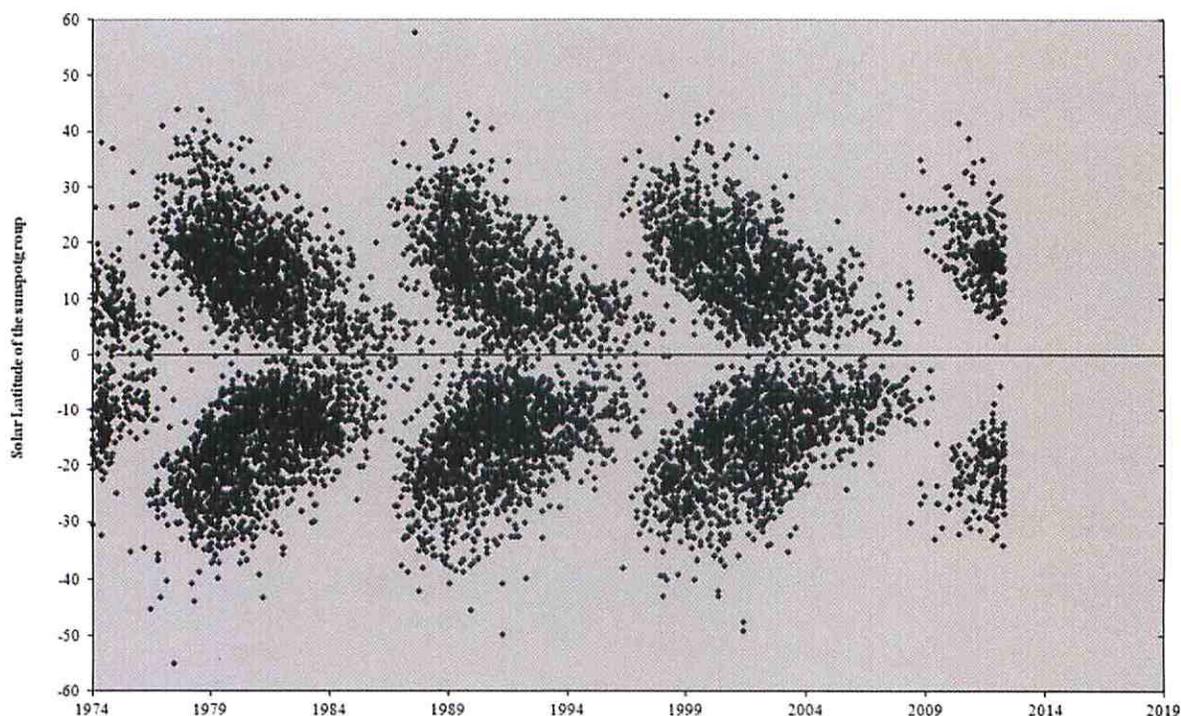
È possibile calcolare il numero di Wolf con l'equazione:

$$R = K \times (10G + M)$$

Dove K è un fattore di correzione, che varia a seconda dell'apertura del telescopio utilizzato; G è il numero di gruppi osservabili (n.b. nel conteggio, una singola macchia utilizzata va considerata come gruppo); M è invece il numero di macchie complessive.

Il Sole ha un periodo medio di 11 anni e mano a mano che il ciclo avanza le macchie si formano a latitudini sempre più basse. Quando invece si ripresentano a latitudini alte ha inizio un nuovo ciclo.^[15]

Possiamo osservare la disposizione delle macchie durante i cicli solari nel "grafico a farfalla", chiamato così per la sua forma caratteristica.



Sull'asse delle ordinate possiamo trovare le latitudini (lo zero indica l'equatore solare) ; se nelle ascisse inseriamo il variare degli anni otterremo questo grafico caratteristico che ci permette di osservare perfettamente come le macchie tendano a spostarsi verso l'equatore solare verso la fine del ciclo solare.

Durante lo stage, abbiamo ripreso video e immagini del Sole con una webcam, utilizzando un filtro in mylar. Successivamente abbiamo trattato le fotografie con i



Immagine raw del Sole ripresa durante lo stage

passaggi spiegati nei paragrafi precedenti e abbiamo visto come si potevano osservare delle macchie solari sulla superficie del Sole. Inoltre confrontando le nostre riprese con immagini catturate via satellite -risalenti allo stesso giorno- abbiamo potuto constatare che le macchie di entrambe le immagini coincidevano.

Bibliografia

1. "Come si osserva il Sole, Metodi e tecniche per l'astronomo non professionista" di Jamey L. Jenkins, traduzione italiana a cura di Corrado Lamberti, Springer, 2010
2. IX Lettera, indirizzata a Maffeo Barberini, Galileo Galilei, 2 Giugno 1612
3. "Il globo terrestre e la sua evoluzione" di E. L. Palmieri e M. Parotto, sesta edizione, Zanichelli
4. "Macchie solari e clima" di Marco Marchetti
[<http://planet.racine.ra.it/testi/macchie.htm#app2>]
5. http://www.piergiorgio.org/files/9_1_18.pdf
6. "Osservazione Solare" [http://digilander.libero.it/luranz/Tecnica/oss_solare.htm]
7. "L'osservazione Solare" [http://sole.uai.it/metodo_osservativo.htm]
8. "Tecniche e strumenti di osservazione" di Michele Bortolotti (Associazione Astrofili Trentini) [<http://www.astrofilitrentini.it/notiz/not17/sole.html>]
9. "Osservazioni Solari: Modi, tecniche e strumenti di D.castellano (unione Astrofili Napoletani) [<http://www.unioneastrofilinapoletani.it/it/articoli/osservazioniH.htm>]
10. "FAQ sulla fotografia astronomica" di Daniele Gasparri
[http://www.danielegasparri.com/Italiano/FAQ_fotografia.htm]
11. "I sensori CCD e l'acquisizione digitale delle immagini a colori" di Andrea de Prisco [<http://web.mclink.it/MC0258/CCD.html>]
12. "Calibrazioni immagini"
<http://www.astrofototecnica.it/Tecniche/calibrazioneimmagini.html>]
13. "Il flat field" di Martino Nicolini [<http://astronomiadigitale.blogspot.it/2008/01/il-flat-field.html>]
14. "La luce e i suoi colori" [<http://www.fotocafa.it/laluce.php#contrasto>]
15. "Analisi dell'attività solare" di Fabio Mariuzza e Lucio Furianetto (file pdf)