

Effetto Zeeman e magnetografia solare amatoriale: le osservazioni del 2016

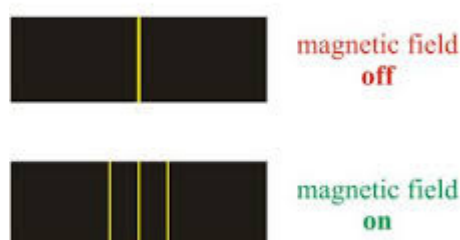
Zeeman effect and solar magnetography by an amateur astronomer: the observations of 2016

Un breve richiamo sull'effetto Zeeman inverso

Nella maggior parte degli atomi, esistono diverse configurazioni elettroniche che possiedono la medesima energia, quindi le transizioni tra differenti coppie di configurazioni corrispondono a una singola linea spettrale. La presenza di un campo magnetico esterno provoca la separazione dei livelli energetici, interagendo in modo differente con gli elettroni in funzione dei differenti numeri quantici e modificando leggermente le loro energie. Il risultato è che da differenti configurazioni che possiedono la stessa energia si ottengono energie leggermente diverse, che producono linee spettrali molto ravvicinate.

A brief review on the inverse Zeeman effect.

In most of the atoms, there are various electronic configurations that possess the same energy, then the transitions between different pairs of configurations correspond to a single spectral line. The presence of an external magnetic field causes the separation of the energy levels, interacting differently with the electrons as a function of the different quantum numbers and slightly modifying their energies. The result is that for different configurations that possess the same energy are obtained slightly different energies, that produce closely spaced spectral lines.



L'effetto Zeeman consiste nell'allargamento o la divisione in più parti di una riga spettrale per effetto di un campo magnetico. In astrofisica, l'astronomo americano George Ellery Hale fu il primo ad osservare tale effetto sul campo magnetico delle macchie solari. Oggi lo stesso effetto viene sfruttato per ottenere magnetogrammi della superficie solare.

Più in particolare si può definire l'Effetto Zeeman come il fenomeno fisico collegato alla scomposizione dei livelli atomici di energia o delle righe dello spettro dovuta all'azione di un campo magnetico esterno. Pieter Zeeman, il fisico olandese che vinse nel 1902 il premio Nobel per la scoperta dell'effetto che da lui prese il nome, si accorse sperimentalmente che, in presenza di un campo magnetico orientato perpendicolarmente, alcune righe spettrali si scomponivano in tre righe diverse (effetto Zeeman ortogonale)) mentre con un campo magnetico orientato parallelamente all'oggetto le righe della scomposizione erano due, e quella centrale scompariva (effetto Zeeman longitudinale). Successivamente ci si rese conto che la scomposizione era molto più complessa di quanto apparisse e, in relazione allo spin dell'elettrone si parlò di effetto Zeeman anomalo o normale. Se la riga è in emissione si parla di Effetto diretto, mentre se è in assorbimento, di effetto Zeeman inverso.

Dal punto di vista dell'astronomia amatoriale, il fenomeno in questione è molto difficile da osservare per il semplice fatto che richiede poteri risolutivi spettrali molto elevati (a mio avviso > 60.000) ed una certa dimestichezza con le righe dello spettro solare per l'individuazione delle righe del ferro interessate al fenomeno, tra cui in primis quelle Fe I a 6173 ed a 6302 Å. La registrazione dell'effetto Zeeman sulle righe solari costituisce quindi una vera sfida per l'amatore che si occupa di spettroscopia e per la sua strumentazione.

The Zeeman effect consists in widening or the division into more parts of a spectral line due to a magnetic field. In astrophysics, the American astronomer George Ellery Hale was the first to observe this effect on the magnetic field of sunspots. Today the same effect is used to get magnetograms of the solar surface.

More specifically you can define the Zeeman effect as the physical phenomenon linked to the breakdown of atomic energy levels or of spectral lines due to the action of an external magnetic field. Pieter Zeeman, Dutch physicist who won the Nobel Prize in 1902 for the discovery of the effect which bears his name, noticed experimentally that, in the presence of a magnetic field oriented perpendicularly, some spectral lines were blown to pieces in three different lines (orthogonal Zeeman effect)) while with a magnetic field oriented parallel to the object the lines of the decomposition were two, and the middle one disappeared (the longitudinal Zeeman effect) . Furthermore it was realized that the decomposition was much more complex than it appeared and, in relation to the electron spin was talk of anomalous Zeeman effect or normal. If the line is in emission is called direct Zeeman effect, while if it is in absorption, inverse Zeeman effect.

From the point of view of amateur astronomy, the phenomenon in question is very difficult to observe for the simple fact that requires very high spectral decisive powers (in my opinion > 60,000) and a certain familiarity with the lines of the solar spectrum for the identification of iron lines affected to the phenomenon, including primarily those Fe I at 6173 and 6302 Å. Recording Zeeman effect on the solar lines is thus a real challenge for the amateur who deals with spectroscopy and its instrumentation.

Le seguenti sono alcune righe del ferro particolarmente sensibili all'effetto Zeeman, ed individuate da amatori specializzati nel campo.

The following iron lines are particularly sensitive to Zeeman effect:

Fe I 6137.0 Å

Fe I 6173.3 Å

Fe I 6232.6 Å

Altre righe Zeeman sensibili:

Some others lines

Ca I 6572.8 A,
Fe I 6574.3 A,
Fe I 6575.0 A, (nearby water line)
Ti I 6554.2 A
Ti I 6556.1 A
Ca I 6572.8A
Ti I 5426.3A,
Mn I 5432.6 A
Fe I 5225.5 A
Cr I 5247.6 A
Fe I 5250.2 A

Rilevazione ,in luce non polarizzata, dello splitting della riga del ferro a 6173 A nella regione attiva AR 2546 il 22 maggio 2016

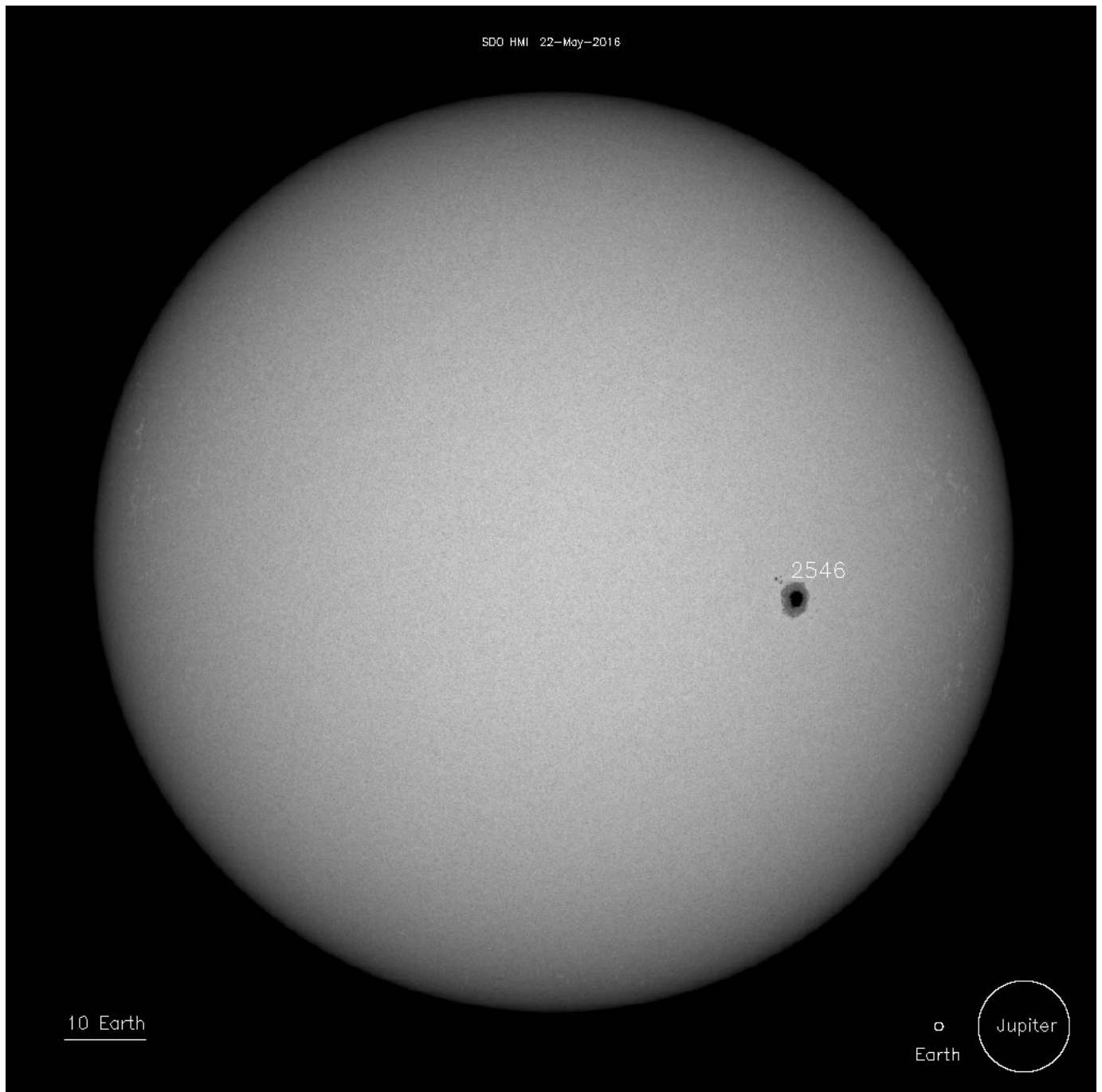
Detection in not polarized light, of the splitting of Iron line at 6173 A in the active region AR 2546 on may, 22, 2016

Una regione attiva con una macchia di particolare grandezza per il periodo, la AR 2546, ha fornito il 22 maggio 2016 l'occasione per osservare lo splitting delle righe del ferro a 6173 A in assorbimento nonché di tentare una misura comparata del campo magnetico in Gauss risultante dall'allargamento e dalla divisione della riga indotti dalla regione attiva in discorso .Tale fenomeno , com'è noto, prende il nome di effetto Zeeman inverso ed è molto difficile da osservare a livello amatoriale per le alte risoluzioni richieste allo spettrografo.

Nella seconda metà di maggio 2016 è apparsa sul sole una regione attiva piuttosto intensa, numerata 2546, con una macchia di grande estensione, sicuramente la maggiore dell'anno, in un gruppo multipolare con un componente molto esteso altri componenti estremamente più piccoli.

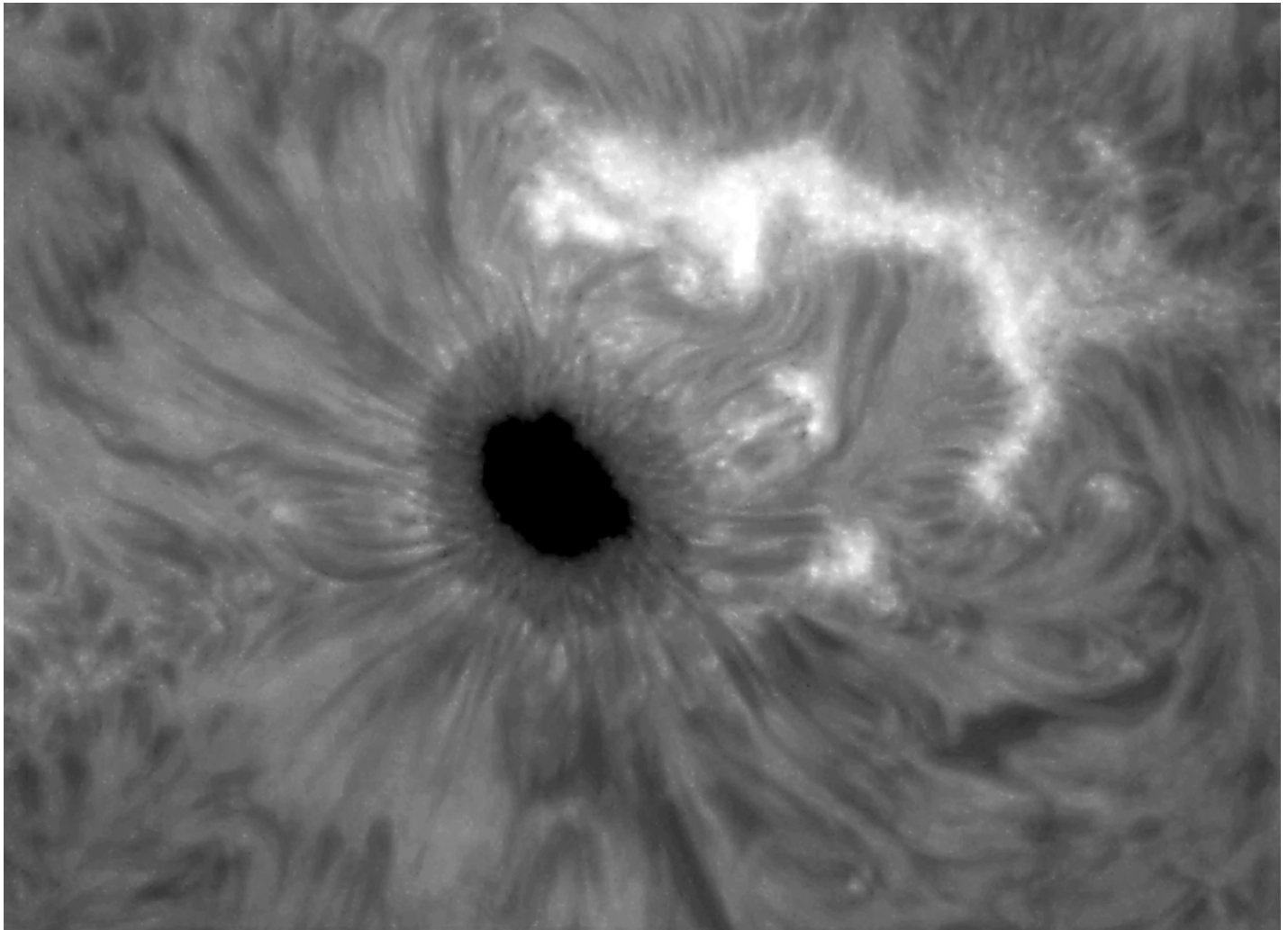
An active region with a sunspot of particular size for the period, the AR 2546,on May 22, 2016 has provided the opportunity to observe the splitting of the iron lines at 6173 A in absorbtion as well as of trying a comparative measurement of the magnetic field in Gauss resulting from enlargement and splitting of the line induced by the active region in the speech from the strength of its magnetic field .This phenomenon, as we know, is called the inverse Zeeman effect and it is very difficult to observe as a hobby for high resolutions requests to the spectrograph.

In the second half of May 2016 it appeared on the sun an active region quite intense, numbered 2546, with a spot of great extent, certainly the biggest of the year, in a multi-polar group with a very large component of other extremely smaller components.



La macchia 2546 a livello fotosferico il giorno 22 maggio 2016 , fonte SOHO-MDI

The sunspot at photospheric level, source SOHO-MDI



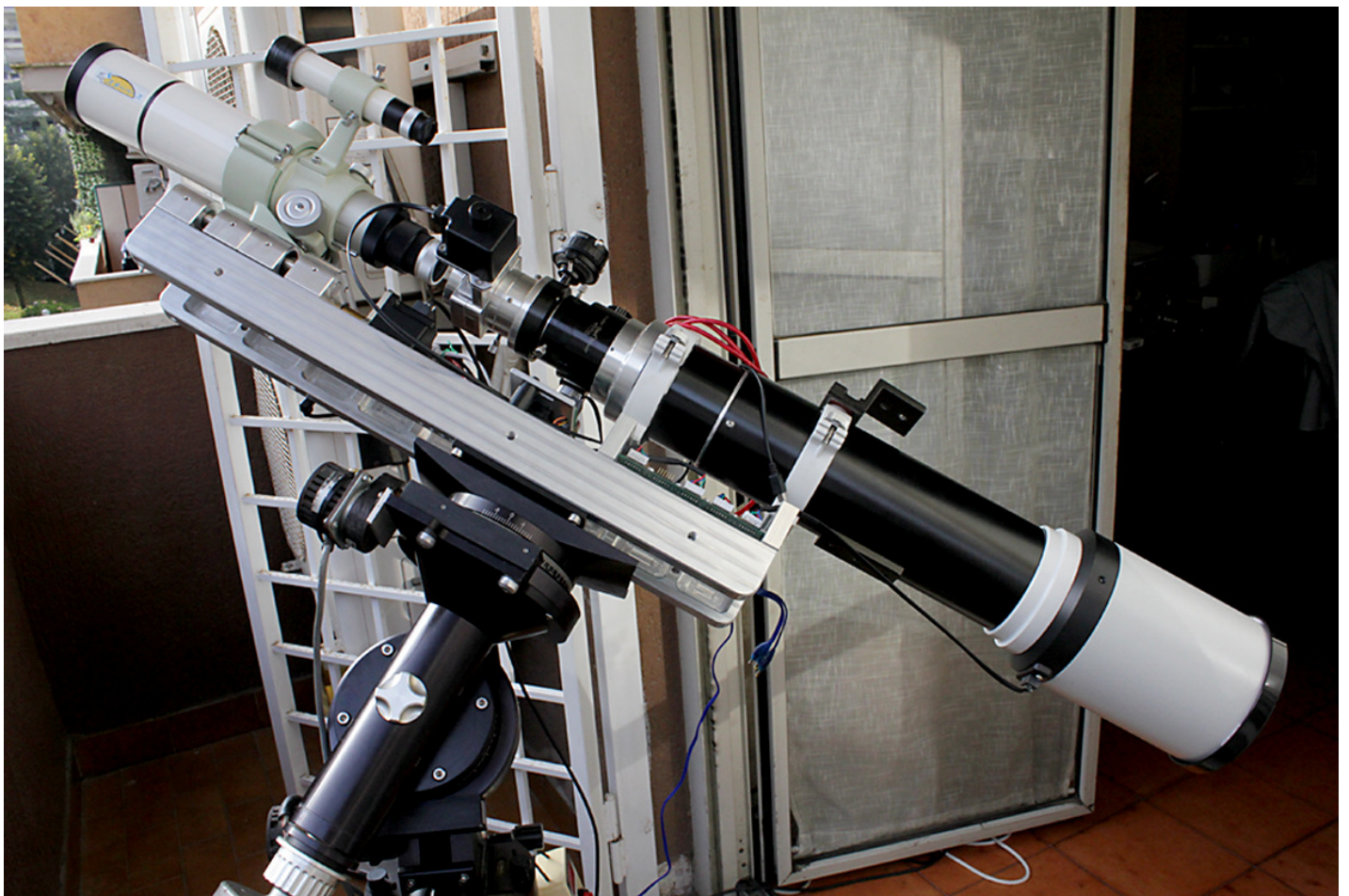
La macchia 2546 a livello cromosferico- foto dell'autore in luce H alpha

The sunspot at chromospheric level, photo of the author

2 - La strumentazione usata

La strumentazione usata è stato lo spettrografo-spettroelioscopio digitale ad alta risoluzione Solarscan, sviluppato, su progetto di chi scrive dalla nota ditta Avalon di Aprilia (RM): Si tratta di uno strumento di alta qualità tecnologica e meccanica completamente automatizzato e remotizzabile, capace di risoluzioni spettrali superiori a $R = 60000$ in un peso di 15 Kg e una lunghezza di circa 110 cm, quindi perfettamente gestibile da una sola persona su montature equatoriali di classe media come Losmandy G11 ed Avalon M1. Nel caso specifico lo strumento è stato montato su una Losmandy G11. La camera usata è stata una Imaging Source DMK 41 AS, con sensore Sony ICX 205 AL e pixel da 4.65 micron, con la quale è stato ottenuto un filmato dello spettro di 800 frames mediati con Registax senza alcuna forma di elaborazione (solo stacking).

The equipment used was the high resolution digital spectrograph-spectrohelioscope Solarscan, developed, on a layout of the writer, by the known firm Avalon Instruments from Aprilia (Rome): This is a technological high quality instrument and mechanical fully automated and capable of higher spectral resolutions up to $R=60000$ at a weight of 15 kg and a length of about 110 cm, therefore perfectly manageable by one person on a middle class equatorial mount as Losmandy G11 or Avalon M1. In the specific case the instrument was mounted on a Losmandy G11. The camera used was a Imaging Source DMK 41 AS, with Sony ICX 205 AL sensor and pixels of 4.65 microns, with which it was obtained a video of the spectrum of 800 frames stacked by Registax without any form of processing.



Lo spettrografo Solarscan sulla Losmandy G11 dell'autore

The spectrograph Solarscan on the Losmandy G11 mount of the author.

Per ottenere la massima risoluzione utile senza che il transversalium (le righe orizzontali dovute a diffrazione od imperfezioni della fenditura) rovinassero lo spettro, la fenditura è stata chiusa a circa 0.15 micron (1/67 di mm) e la messa fuoco è stata particolarmente curata. La dispersione è stata di 0.021 Å/pixel e la risoluzione di circa 60.000 nella zona spettrale interessata. Lo spettro bidimensionale della riga Fe1 a 6173 Å si presentava come segue:

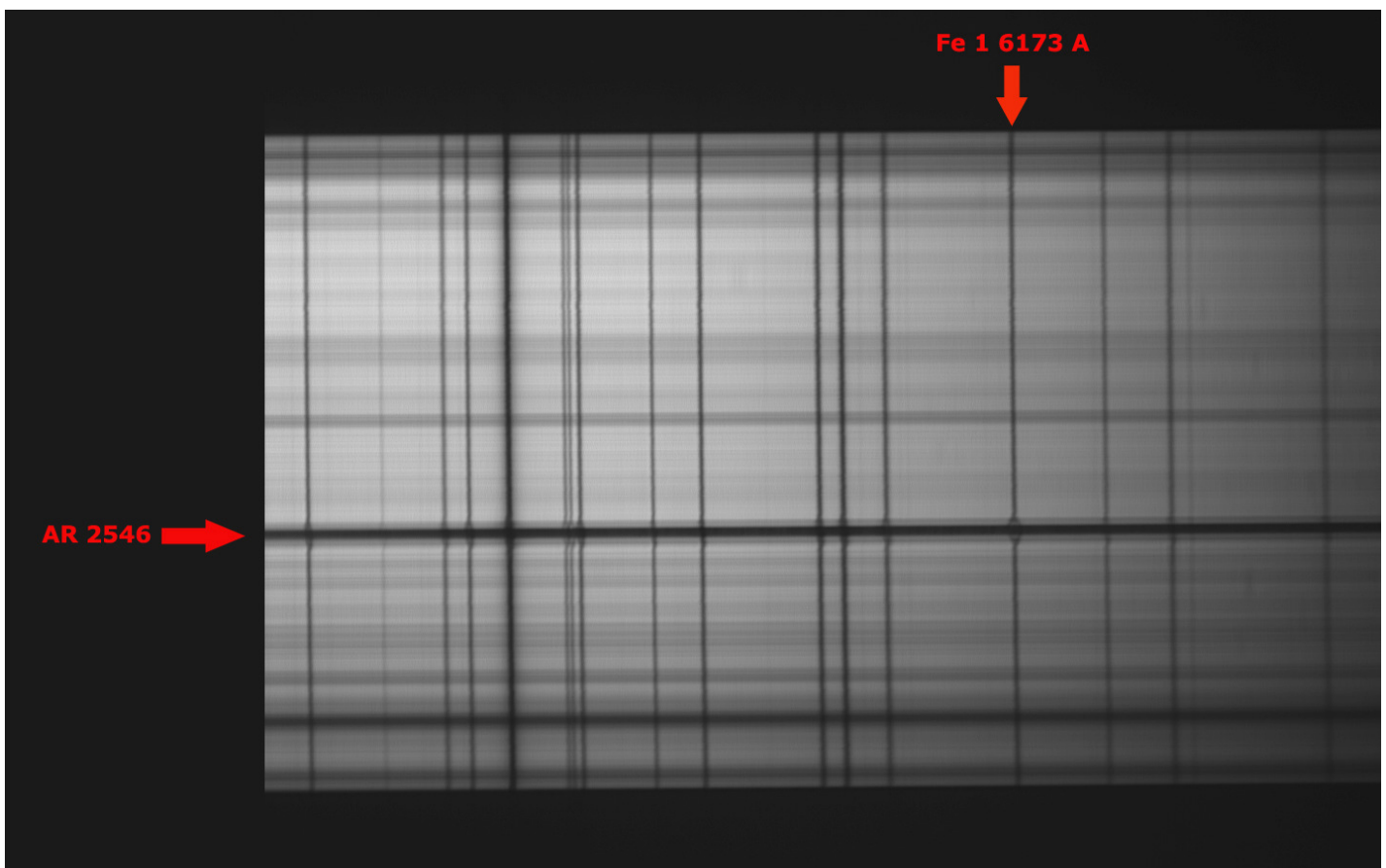
For maximum useful resolution without that the transversalium (horizontal lines due to diffraction or imperfections of the slit) could ruine the spectrum, the slit was closed at about 0.15 microns (1/67 mm), and the focus has been particularly cared . The dispersion was 0.021 Å / pixel and resolution of about 60,000 in the spectral area .The two-dimensional spectrum of Fe1 line at 6173 Å was as follows:

3 - La scomposizione della riga Fe1 a 6173 Å

Splitting of Fe1 line at 6173 Å

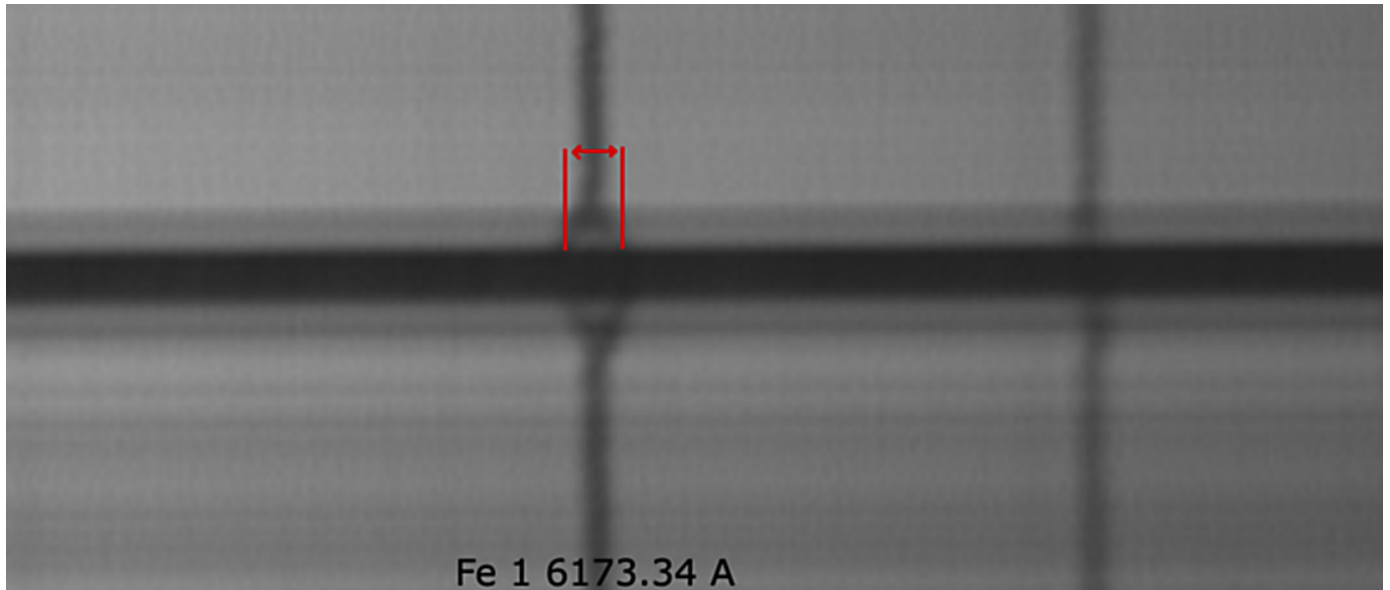
Lo splitting si notava su buona parte delle righe del ferro presenti nella zona , ma sulla riga 6173 era particolarmente accentuato e visibile sulle due ali ,ed un leggero filtro wavelet lo ha reso ancora più evidente

The splitting was noticeable on the most of iron lines, but on that at 6173 Å it was clearly visible on both the two wings, and a light wavelet filter made it even more visible.



E, ingrandendo:

and, zooming:



La riga con i centri delle due righe splittate

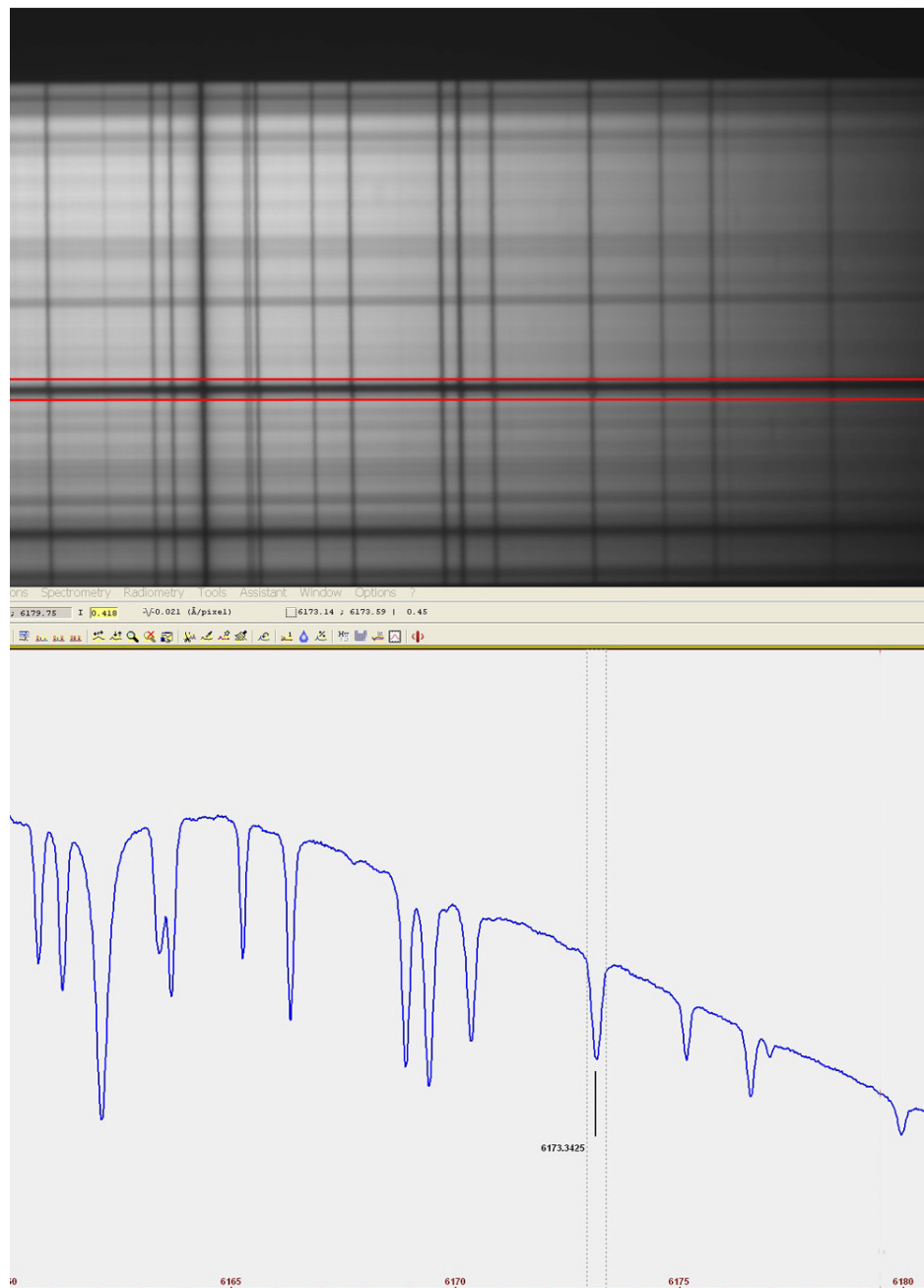
The line with the two splitted lines on both sides

Sembrava quindi trattarsi di un effetto Zeeman inverso longitudinale; e da esso si poteva risalire al campo magnetico in Gauss della macchia che lo aveva generato usando un'apposita formula, a patto di poter determinare con esattezza le dimensioni in Angstrom dello splitting della riga. Ho cominciato quindi a selezionare, in Visual Spec, nello spettro bidimensionale originario ottenuto, la parte relativa all'ombra e penombra della macchia, ottenendo il profilo seguente:

It seemed to be, therefore, a reverse longitudinal Zeeman effect, and it could be traced back to the magnetic field in Gauss of the sunspot that had generated it using a special formula, assuming that they can pinpoint the angstrom size of the splitting of the line. Then I began to select, in Visual Spec, in the original two-dimensional spectrum obtained, the part on the shade and penumbra of the spot, getting the following profile:

Spettro bidimensionale originale con binning sulla macchia 2546

Original bidimensional spectrum binned on the sunspot 2546



Tale profilo, non mi dava , tuttavia la possibilità di distinguere con precisione lo sdoppiamento della riga, e, ricorrendo alla FWHM od alla EW si ottenevano risultati ambigui e sfalsati.

This profile, did not give me, however, the ability to distinguish with precision the splitting of the line, and, using the FWHM or to EW were obtained ambiguous results.

4- La misura della scomposizione della riga nei due elementi

The measurement of the splitting of the line in the two elements

4 a - La penombra

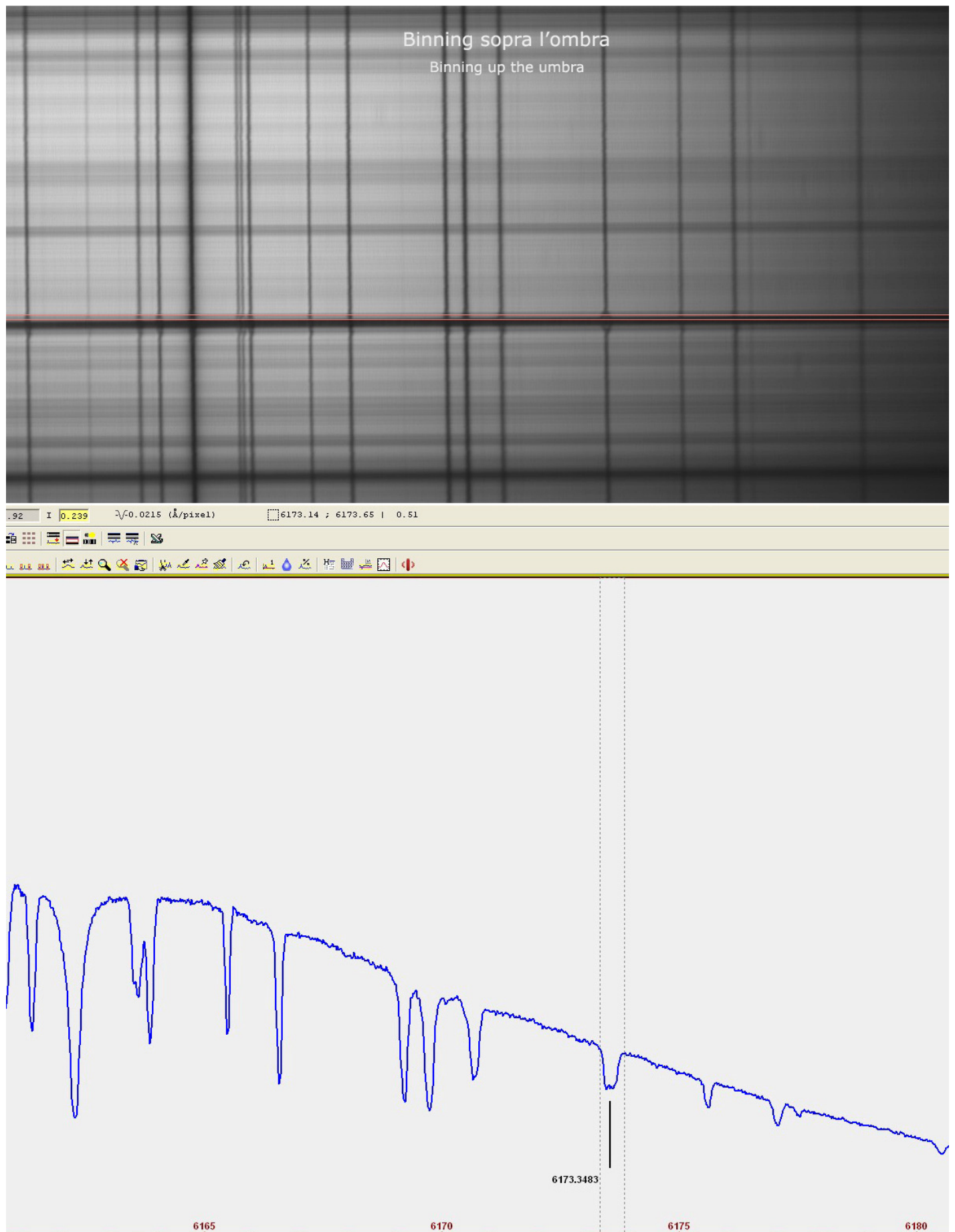
The penumbra

Ho allora provato , sullo spettro bidimensionale col filtro wavelet , ad effettuare il binning sulle regioni al confine tra ombra e penombra della macchia,sopra e sotto l'ombra stessa nella quale lo splitting era più evidente, ottenendo i profili che seguono, nei quali lo sdoppiamento della riga era misurabile.

I then tried, on two-dimensional spectrum with wavelet filter, perform the binning on the border regions between shadow and penumbra of the spot, over and under the umbra in which the splitting was evident, getting the profiles that follow, in which the doubling of the line was measurable.

Spettro bidimensionale sulla zona di massimo sdoppiamento della riga, al confine tra ombra e penombra della macchia solare 2546.

Bidimensional spectrum binned on the maximum line splitting zone, at the border between umbra and penumbra of the sunspot 2546.



Si trattava ora di misurare lo splitting in Angstrom con Visual Spec, ricorrendo alla routine "line center" nel menù a tendina "Computation preferences" del menu "Spectrometry".La distanza molto piccola tra le due righe rendeva tuttavia estremamente facile la possibilità di errori, per cui ho ritenuto opportuno mediare tre misure del centro riga sulla riga splittata a destra, verso il blu, e tre su quella a sinistra, verso il rosso.Tale procedura è stata effettuata sia per lo sdoppiamento sopra l'ombra che al disotto dell'ombra.Sopra l'ombra il risultato della media è stato il seguente: 6173.2499 A (blu) - 6173.4219 (rosso)e la differenza tra i due valori è stata quindi pari a 0.172 A.Sotto l'ombra la separazione (mediata) è stata di 6173.252 A (blu) - 6173.419 (rosso) e la differenza tra i due valori è stata quindi pari a 0.167 A. Ho allora effettuato la media tra i due valori, ottenendo un delta lambda medio complessivo (da una parte e dall'altra rispetto al centro riga) pari a 0.169 A.Tale valore va diviso per due per ottenere il D lambda effettivo di 0.0845 A da applicare alla formula

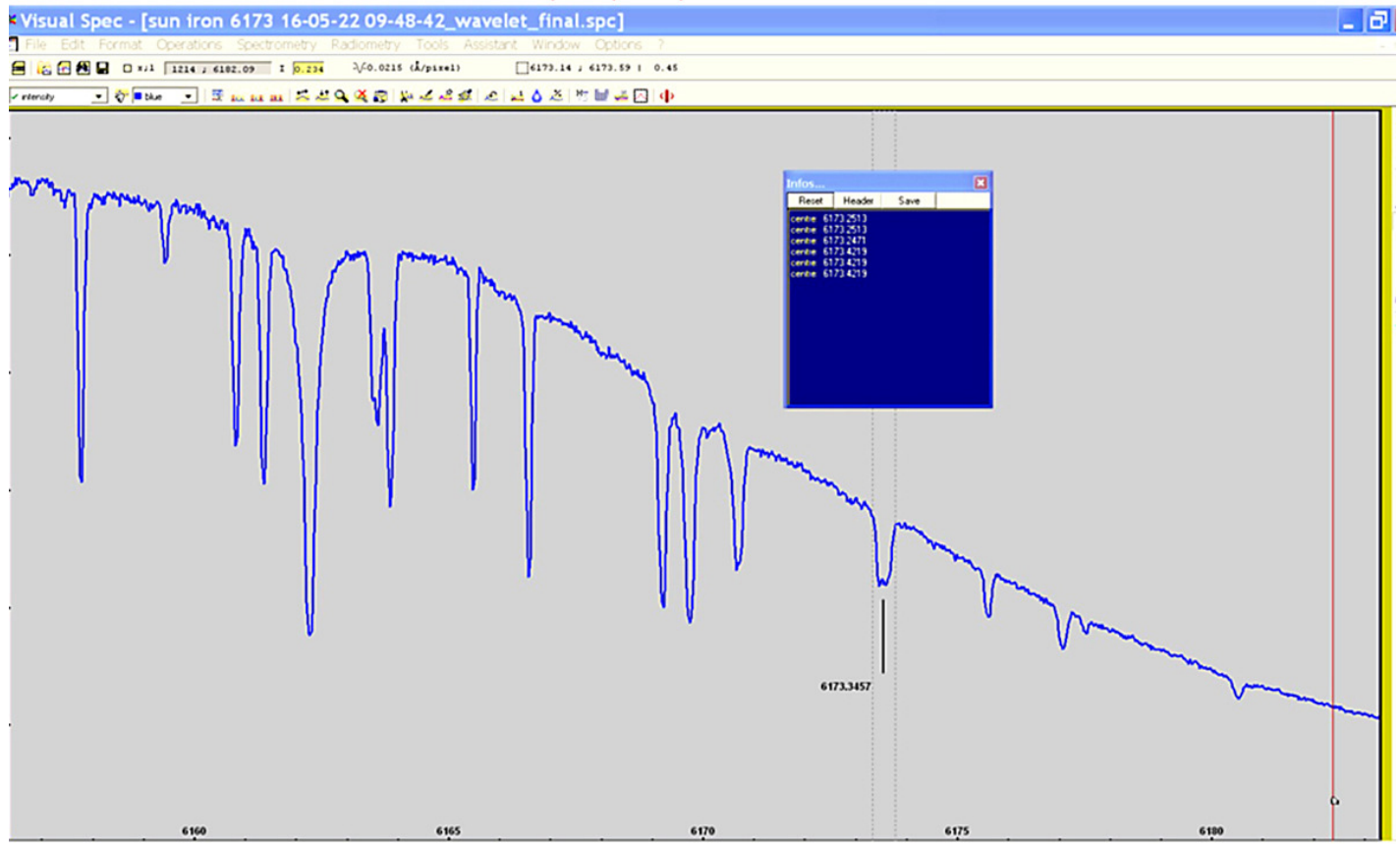
Potevo passare ora conosciuto il delta lambda sul confine ombra- penombra ,alla fase successiva di misurazione del relativo campo magnetico.

It was time to measure the splitting in Angstrom with Visual Spec, resorting to the routine "center line" in the dropdown menu "Computation preferences" of "Spectrometry" main menu .The very small distance between the two lines, however, the possibility of errors made extremely easy , so I thought it appropriate to mediate the three measures of the center line on the splitted line to the right, toward blue, and three out of the one to the left, toward the red.This procedure was performed both for the splitting up and down the umbra.Up the umbra of the average result was the following: 6173.2499 a (blue) - 6173.4219 (red) and the difference between the two values was thus equal to 0.172 A.Under the umbra the separation (mediated) was of 6173.252 A (blue) - 6173.419 (red) and the difference between the two values was therefore equal to 0.167 A. I then made the average between the two values, obtaining an overall average lambda delta (one part and by ' other relative to the center line) equal to 0.169 A.This value must be divided by two to get the actual lambda D of 0.0845 a to be applied to the formula of magnetic field B

I could go now to the next phase of magnetic field measurement .

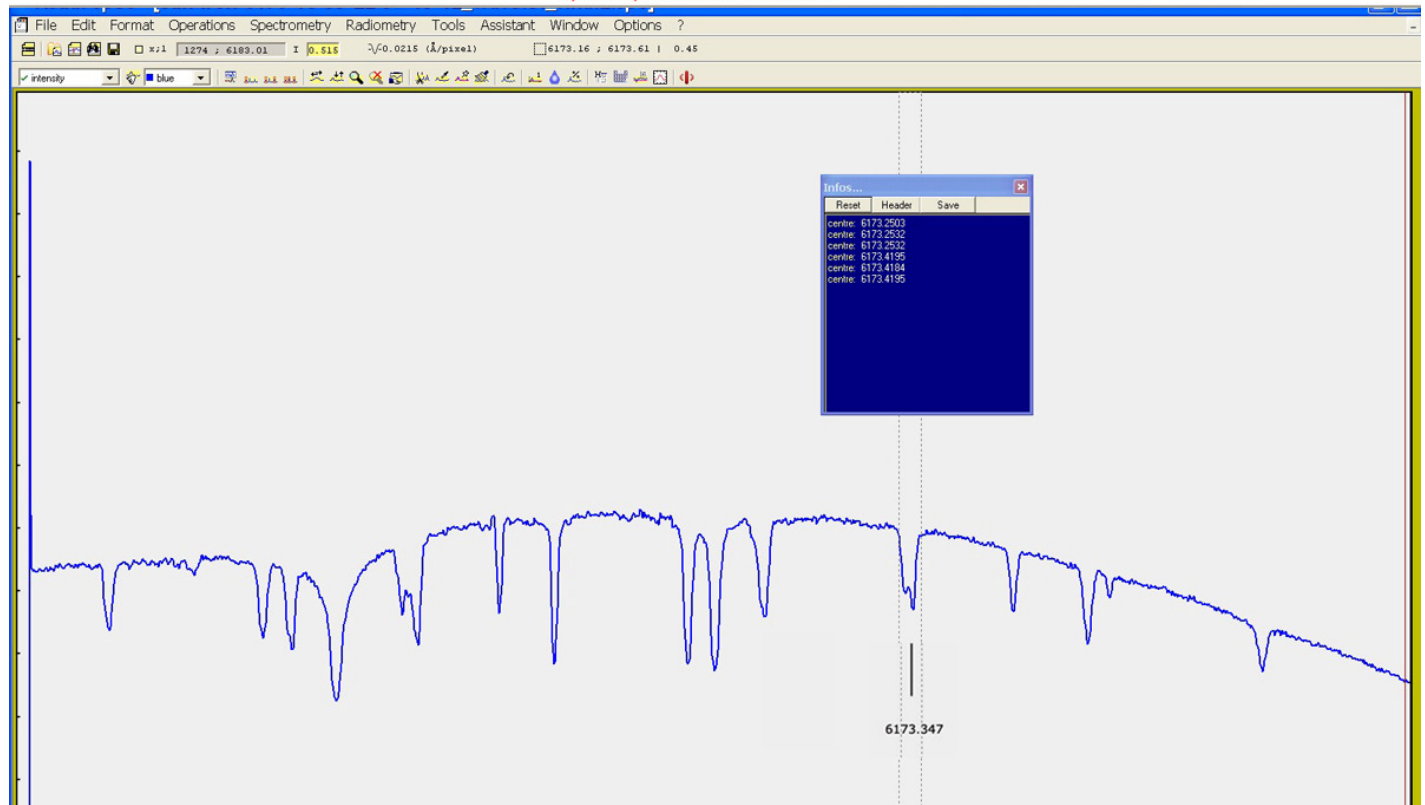
Profilo spettrale sopra l'ombra

Spectral profile up the umbra

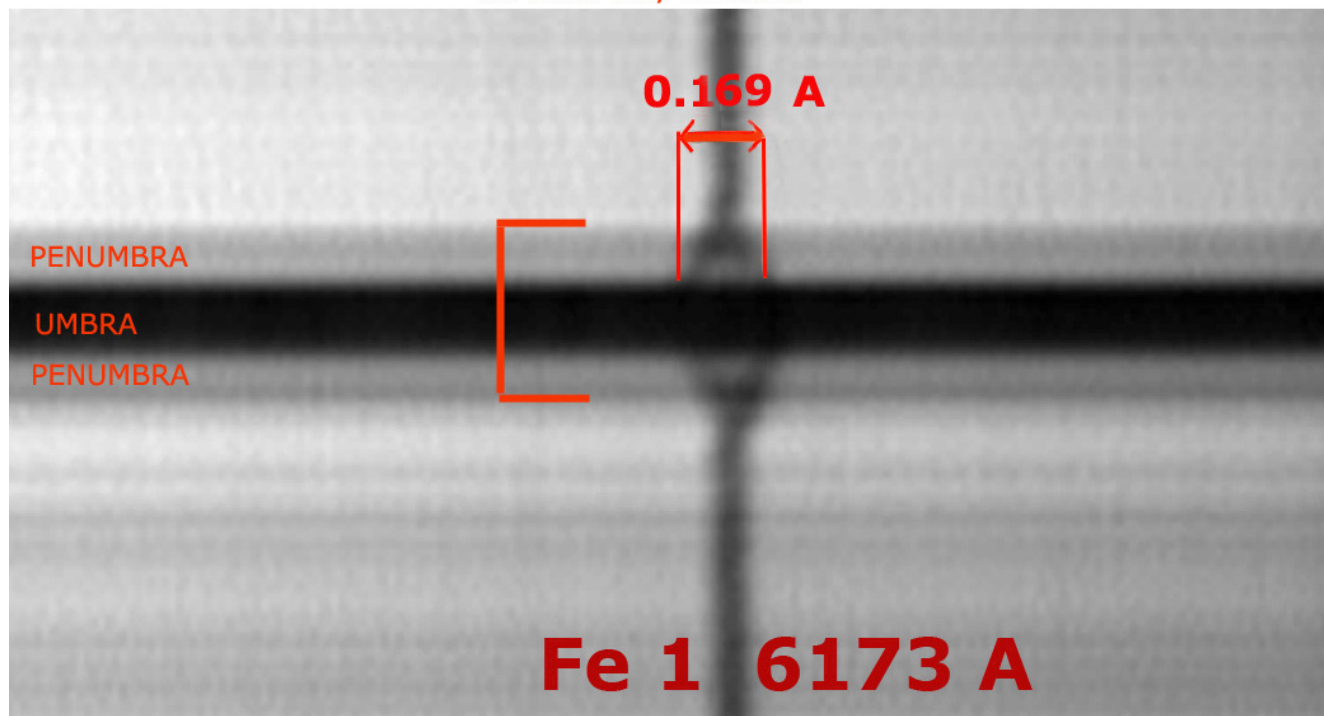


Profilo spettrale sotto l'ombra

Spectral profile under the umbra



Splitting of Fe1 Iron line at 6173.34 -g = 2.5
AR 2546 may 22 2016



La relazione tra $\Delta\lambda$ ed il campo magnetico B è:
the relation between and the magnetic field is :

$$(1) \quad \Delta\lambda = \frac{\pi \cdot e}{m_e} \cdot \frac{\lambda^2}{c} \cdot g \cdot B$$

$$(2) \quad \Delta\lambda = 4.67 \cdot 10^{-13} \cdot \lambda^2 \cdot g \cdot B$$

dove:

B è il campo magnetico in Gauss
is the magnetic field in Gauss

λ è la lunghezza d'onda della riga;
is the wavelenght of the line

e è la carica dell'elettrone;
is the charge of electron

m_e è la massa dell'elettrone
is the mass of electron

c è la velocità della luce
is the speedy of light

g il fattore di Landè della riga
is the Landè factor of the line

dalla precedente (2) si ottiene:

Applicando la formula (3) sul D lambda di 0.0845 e tendo conto che il fattore di Landè della riga Fe1 a 6173 Å è pari a 2.5 ,si ottiene:

Applying the formula (3) on D lambda of 0.0845, and taking into account that Landè factor of the line was 2.5, we get:

$$(3) \quad B = \frac{0.0845}{\frac{4.67 \cdot 38105929 \cdot 2.5}{10^{13}}} = \frac{0.0845 \cdot 10^{13}}{444886721} = 1899 \text{ Gauss}$$

4 b – L'ombra

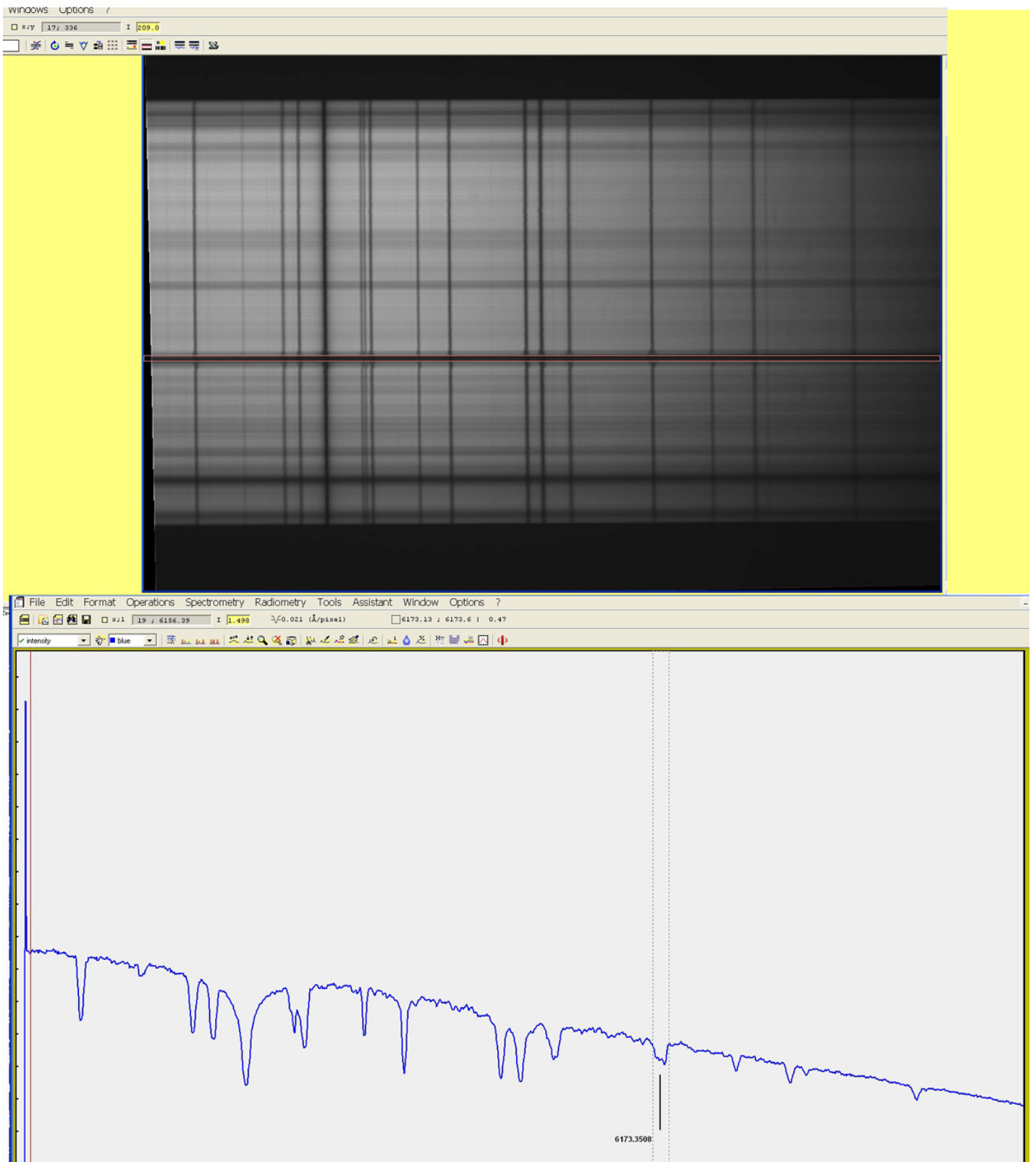
Umbra

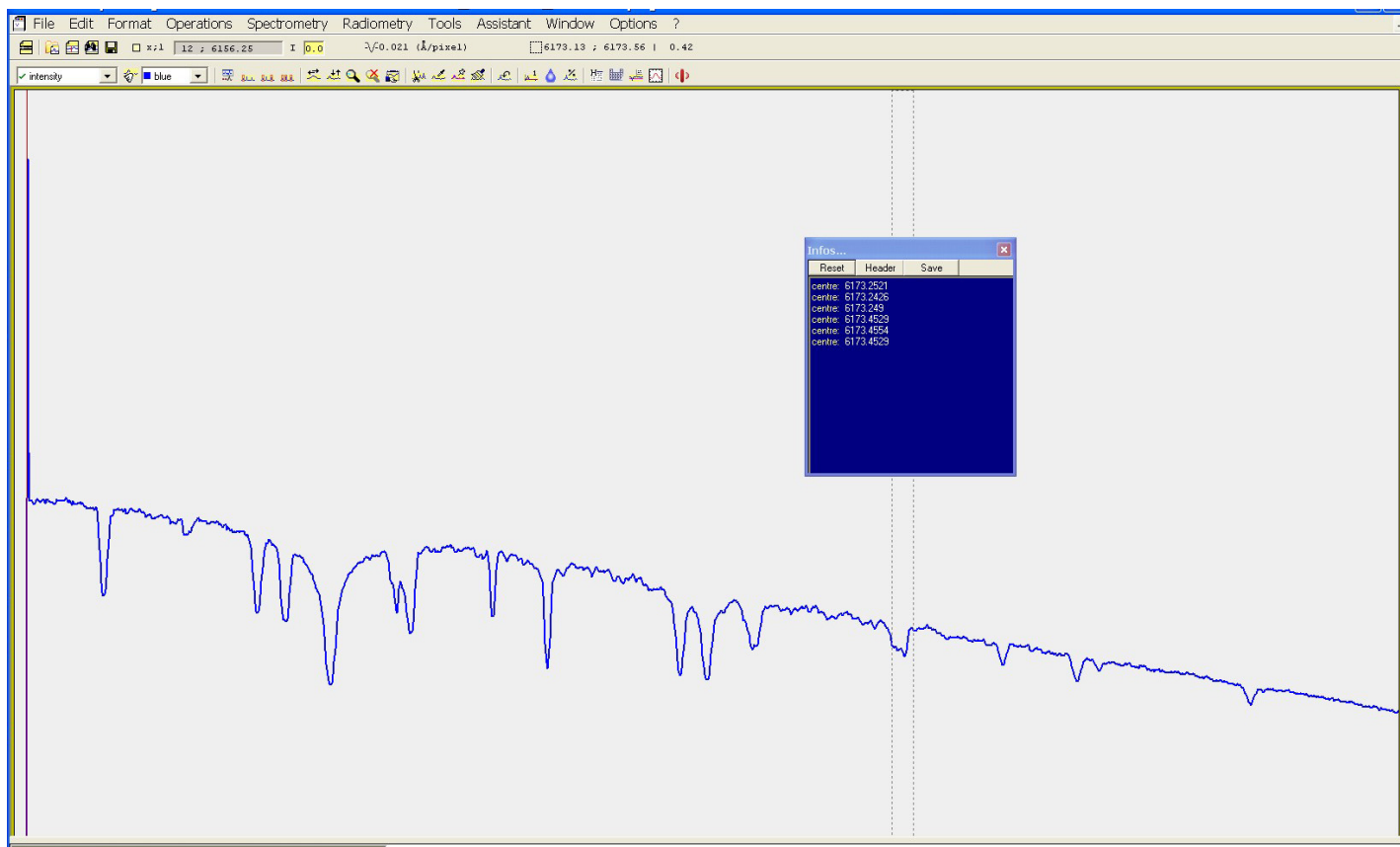
Avevo in un primo tempo rinunciato a prendere il profilo spettrale dell'ombra, che consideravo illegibile nello spettro bidimensionale, tuttavia, con mia grande sorpresa, Visual Spec è riuscito ad estrarre anche dalla zona quasi nera dell'immagine un profilo, che pur valutato con cautela, presentava tuttavia un notevole grado di attendibilità e che mi sentivo comunque di elaborare. E' bene comunque precisare che la misura dei campi magnetici nelle ombre delle macchie solari molto scure come quella in esame non è un compito facile nemmeno per i professionisti, data la scarsa incisione delle righe splittate e la loro difficoltà di lettura.

I had at first declined to take the umbral spectral profile, for I considered it illegible in the two-dimensional spectrum. However, to my surprise, Visual Spec managed to extract even from almost black area of the image, one which would estimate with caution, but which certainly had a considerable degree of confidence and I felt free to bring in his processing. It is still worth pointing out that the measurement of magnetic fields in the umbra of the very dark sunspots such as this is not an easy task even for professionals, given the poor record of splitted lines and their reading difficulties.

SPETTRO BIDIMENSIONALE BINNED SULL'OMBRA E PROFILO RELATIVO

BIDIMENSIONAL SPECTRUM BINNED ON THE UMBRA AND ITS PROFILE





Fatta la solita media di tre misure per entrambe i centri delle due righe splittate nell'ombra, questa era pari a 6137.2479 verso il blu 6137.4537 verso il rosso. La differenza tra i predetti valori di 0.2058, divisa per 2 come in precedenza, risultava di 0.1029 Å e, applicando la formula (3), risultava:

Done the usual average of three measurements for both of the two splitted lines in the umbra, this was equal to 6137.2479 toward the blue and 6137.4537 toward the red. The difference between the predicted values of 0.2058, divided by 2 as previously, resulted of 0.1029 Å and, applying the formula (3), it appeared:

$$(4) \quad B = \frac{0.1029 \cdot 10^{13}}{444886721} = 2313 \text{ Gauss}$$

Tale ultimo valore è sicuramente concreto, in quanto deriva da misure effettuate con un software collaudato e preciso.

Tirando le somme, sono stati estratti i valori dei campi magnetici di ombra e penombra della macchia solare 2546 .In ogni caso entrambi i valori sembrano coerenti tra loro (la differenza è inferiore a 2 pixel nello spettro bidimensionale) e

con il trend della forza dei campi magnetici delle macchie solari degli ultimi anni, come riportato nelle recenti pubblicazioni sul tema.

This latter value is definitely real, as it is derived from measurements made with a proven and accurate software.

Summing up, we extracted the values of the magnetic fields of shadow and penumbra of the sunspot 2546 .In any case, both values appear to be consistent with each other (the difference is less than 2 pixels in the two-dimensional spectrum) and the strength of the trend magnetic fields of sunspots in recent years, as reported in recent publications on the topic.

Sembrerebbe tutto finito, ma occorre anche considerare i numerosi fattori di errore, presenti nelle osservazioni professionali, figuriamoci in quelle amatoriali.

Dette fonti di errore possono così riassumersi:

It would appear all over, but we must also consider the number of error factors, present in professional observations , let alone in those of amateurs.

Such sources of errors can be summarized as follows:

1- Seeing

Seeing

Nel giorno dell'osservazione ci fu un seeing medio, dovuto ad assenza di vento e la stessa è stata effettuata alle prime ore del mattino, 7.48 TU quando i moti convettivi di origine termica dovuti al riscaldamento dell'aria erano minimi, quindi è possibile affermare che l'allargamento delle righe dovuto al seeing fu senz'altro trascurabile. La fenditura molto chiusa ha inoltre contribuito non poco al risultato come si può anche osservare dalla parte superiore della riga nell'immagine che segue.

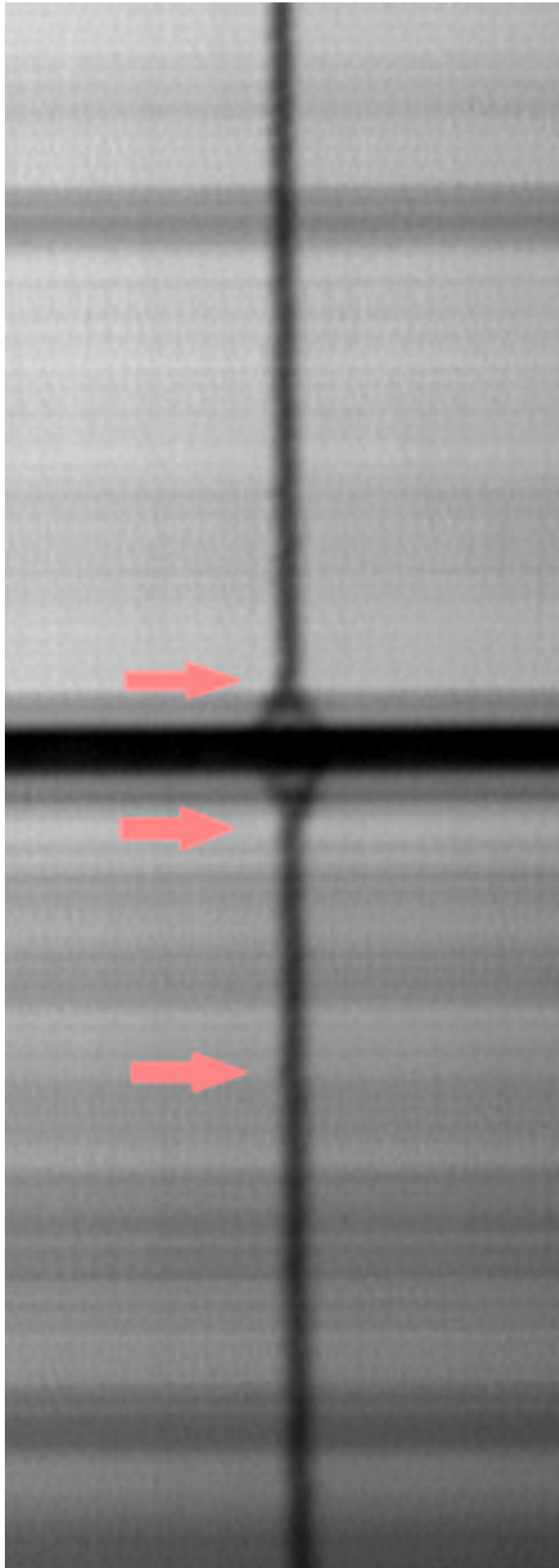
On the day of the observation there was an average seeing, due to lack of wind and the same, and was carried out in the early hours of the morning, 7:48 TU when the convection of thermal origin due to the warming were minimal, so you can say that enlargement of the lines due to the seeing was certainly negligible. The slit very closed also contributed greatly to the result as can be observed from the top of the line in the image below.

2- Fenditura

Slit

Molto più del seeing contano, a mio avviso, gli errori dovuti alla chiusura della fenditura a 15 micron, osservabili nell'immagine sottostante. Tali errori sono assolutamente inevitabili quando si usano fenditure commerciali (quelle professionali da ricerca vanno lavorate almeno ad $1/4$ di Λ e costano migliaia di euro). Del resto una chiusura della fenditura a 15 micron, e quindi molto stretta, come quella in esame ha fornito già un risultato molto buono ed ha permesso da sola il raggiungimento della risoluzione necessaria per osservare lo splitting. Tanto per intenderci, una chiusura a 30 micron ed una risoluzione conseguentemente dimezzata non avrebbe permesso di osservare il fenomeno e tanto meno quantizzarlo con precisione. Relativamente all'errore in questione, questo appare molto contenuto nelle zone di binning e peraltro compensato dalle medie effettuate.

Much of seeing matter, in my opinion, the errors due to the closure of the slit to 15 microns, observable in the image. Such errors are absolutely unavoidable when using commercial slits (those ranging from professional research work at least $1/4$ Λ and costing thousands of euros). Moreover a closure of a 15 micron slit, and then very narrow, such as this, has provided a very good result and has allowed to achieve the resolution necessary to observe the splitting. For instance, a closure to 30 microns and a resolution consequently halved would not allow to observe the phenomenon, much less quantize it with precision. The error in question, it appears very content in binning areas and also offset by medium made.



3- Errori di inseguimento della montatura:

Tracking errors of the mount

la modesta durata del filmato (ca 1 minuto) hanno reso trascurabile l'errore, sempre presente in montature commerciali specie in alta risoluzione.

The short duration of the movie (about 1 minute) have made negligible error, always present in commercial mounts in high resolution.

4-Effetto Evershed che provoca una deformazione dell'assorbimento nella zona di penombra della macchia:

Evershed effect that causes a deformation in the absorption of the stain twilight zone:

Non dovrebbe essere percepibile se non per risoluzioni d lambda superiori a $2/100$ (0.02) A, mentre si aggira sui 0.10 A.

It should not be perceived except by d lambda resolutions greater than $2/100$ (0.02) A, and this is 0,1 A.

5-Errore del software usato, dovuto in parte all'inclinazione delle righe dello splitting: questo è possibile, ma difficile da quantificare.

Error of the software used, in part due to the inclination of the lines of splitting: this is possible, but difficult to determine.

*In conclusione, una quantizzazione di tali fattori di errore separatamente presi appare molto difficile in questa sede, si può tuttavia prendere in considerazione un errore assoluto statistico complessivo derivante dalla metà della differenza tra i valori massimo e minimo delle medie dei centri delle righe splittate $(0.172-0.167)/2$ pari a 0.0025 A, a sua volta equivalente a 56 Gauss. Potrei quindi dire che il valore del campo magnetico della macchia è pari a **1899 +- 56 Gauss per la penombra**. Stesso discorso per l'ombra, dove però vanno considerate solo le differenze tra i massimi e minimi delle tre misure dei centri riga nel blu e nel rosso (0.095 e 0.025) la cui differenza divisa per 2, pari a 0.0035 A, equivale a 79 Gauss circa. **La forza del campo nell'ombra dovrebbe quindi valere 2313 +- 79 Gauss.***

*In conclusion, a quantization of these error factors taken separately appears very difficult here, it may, however, consider an overall statistical absolute error from half the difference between the maximum and minimum values of the averages of the splitted lines centers $(0.172 - 0.167) / 2$ equal to 0.0025 a, in turn equivalent to 56 Gauss. I can then say that the value of the magnetic field of the spot is equal to **1899 + - 56 Gauss for the penumbra**. Same goes for umbra , however, should be considered only the differences between the highest and lowest of the three measures of line centers in the blue and red (0.095 and 0.025) whose difference divided by 2, equal to 0.0035 A, equivalent to 79 Gauss. The umbra field strength should then be worth **2313 + - 79 Gauss.***

Rilevazione ,in luce non polarizzata,nella AR 2565, dello splitting delle righe del ferro a 6173 A nella regione attiva AR 2565 il 17 luglio 2016

Detection, in not polarized light, of the splitting of iron line at 6173 A in the active region AR 2565 on july, 17, 2016.

Nell' osservazione,del 22 maggio 2016 descritta in precedenza è stato rilevato, sulla AR 2546, lo splitting della riga del ferro a 6173 ed è stata effettuata una misura comparata del campo magnetico in Gauss risultante dall'allargamento e dalla divisione indotti dalla regione attiva in discorso sullo spettro di assorbimento della riga stessa (effetto Zeeman inverso) .Anche stavolta ho scelto, per motivi di uniformità, tale riga, nonostante la differenza nell'evidenza dello splitting fosse stavolta apparentemente a favore di quella 6302 A.Come riga di controllo per gli effetti strumentali ho usato quella dell' O2 ATM a 6302.00 A.

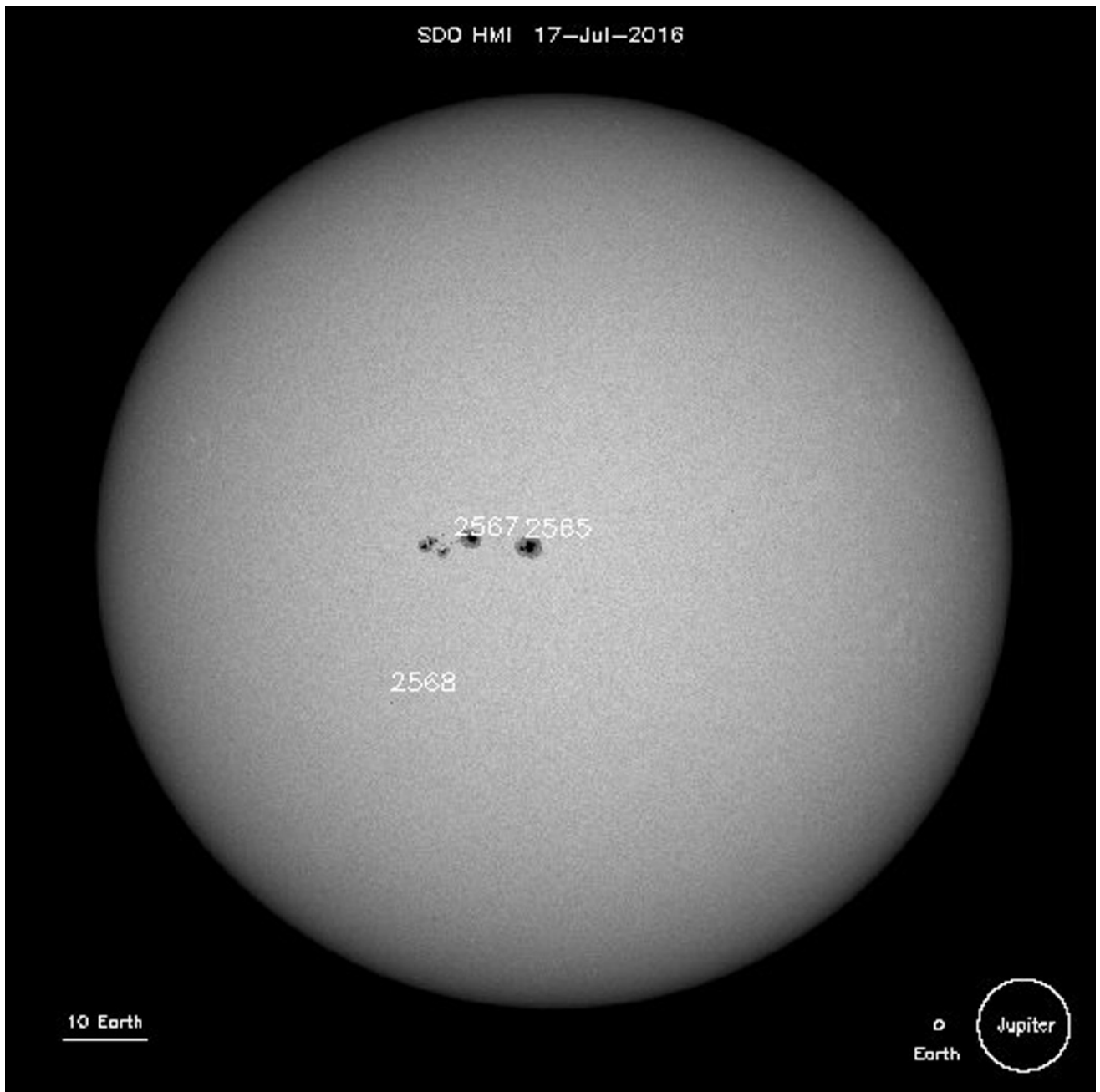
In the observation of 22 May 2016 described above has been detected,in the AR 2546,the splitting the iron line in 6173 and was carried out a comparative measurement of the magnetic field in Gauss resulting from enlargement and from the division brought about by the active region itself on the absorption spectrum of the line (inverse Zeeman effect) .Even this time I chose, for reasons of uniformity, that line, despite the difference in the evidence of splitting was this time apparently in favor of the 6302 A iron line.As control line for instrumental effects I used that of ATM O2 at 6302.00 A.

1- Il target

The target

Nella seconda metà di luglio 2016 sono apparse sul sole due regioni attive con una serie di macchie di discreta estensione, la maggiore delle quali era quella contrassegnata col n. 2565.

In the second half of july, 2016, appare on the sundisk two active regions with a group of sunspots of a noticeable extension, the wider of which was the one marked with number 2565.



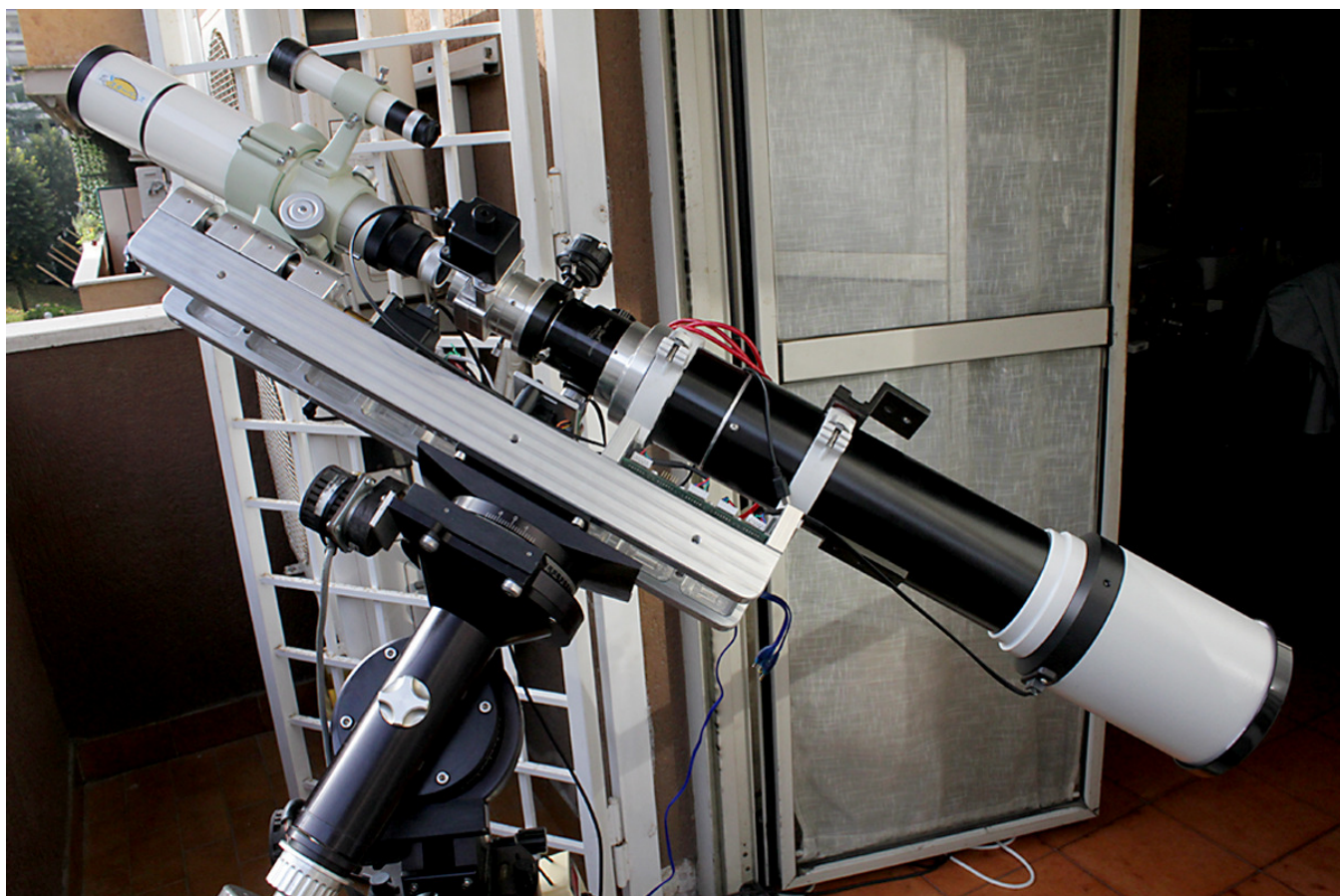
Le macchie in questione a livello fotosferico il giorno 17 luglio 2016 , fonte SOHO-MDI

The sunspots in question at photospheric level, source SOHO- MDI

2- La strumentazione usata

La strumentazione usata è stata anche stavolta lo spettrografo-spettroelioscopio digitale ad alta risoluzione Solarscan, progettato da chi scrive e sviluppato dalla nota ditta Avalon di Aprilia (RM): Si tratta di uno strumento di alta qualità tecnologica e meccanica completamente automatizzato e remotizzabile, capace di risoluzioni superiori a 60000 in un peso di 15 Kg e una lunghezza di circa 110 cm, quindi perfettamente gestibile da una sola persona su montature di classe media come Losmandy G11 ed Avalon M1. Nel caso specifico lo strumento è stato montato su una Losmandy G11. La camera usata è stata una Imaging Source DMK 41 AS, con sensore Sony ICX 205 AL e pixel da 4.65 micron, con la quale è stato ottenuto un filmato dello spettro di 800 frames mediati con Registax senza alcuna forma di elaborazione (solo stacking). Tuttavia, per incrementare la visibilità della divisione della riga è stato applicato un leggero filtro wavelet come nel caso precedente.

The instrumentation used was once again the high resolution digital spectrograph-spectroheliometer Solarscan, designed by the writer and developed from the known firm Avalon in Aprilia (Rome). This is a fully automated technological and mechanical quality instrument remotely usable, capable of greater than 60000 resolutions in a weight of 15 kg and a length of about 110 cm, so perfectly manageable by a single person on the middle class frames as Losmandy G11 and Avalon M1. In the specific case the instrument has been mounted on a Losmandy G11. The camera used was an Imaging Source DMK 41 aS, with sensor Sony ICX 205 AL and pixels from 4.65 micron, with which it was obtained a film of the spectrum of 800 frames mediated Registax without any form of processing (only stacking). However, to increase the visibility of the line of division was applied a light wavelet filter as in the previous case.

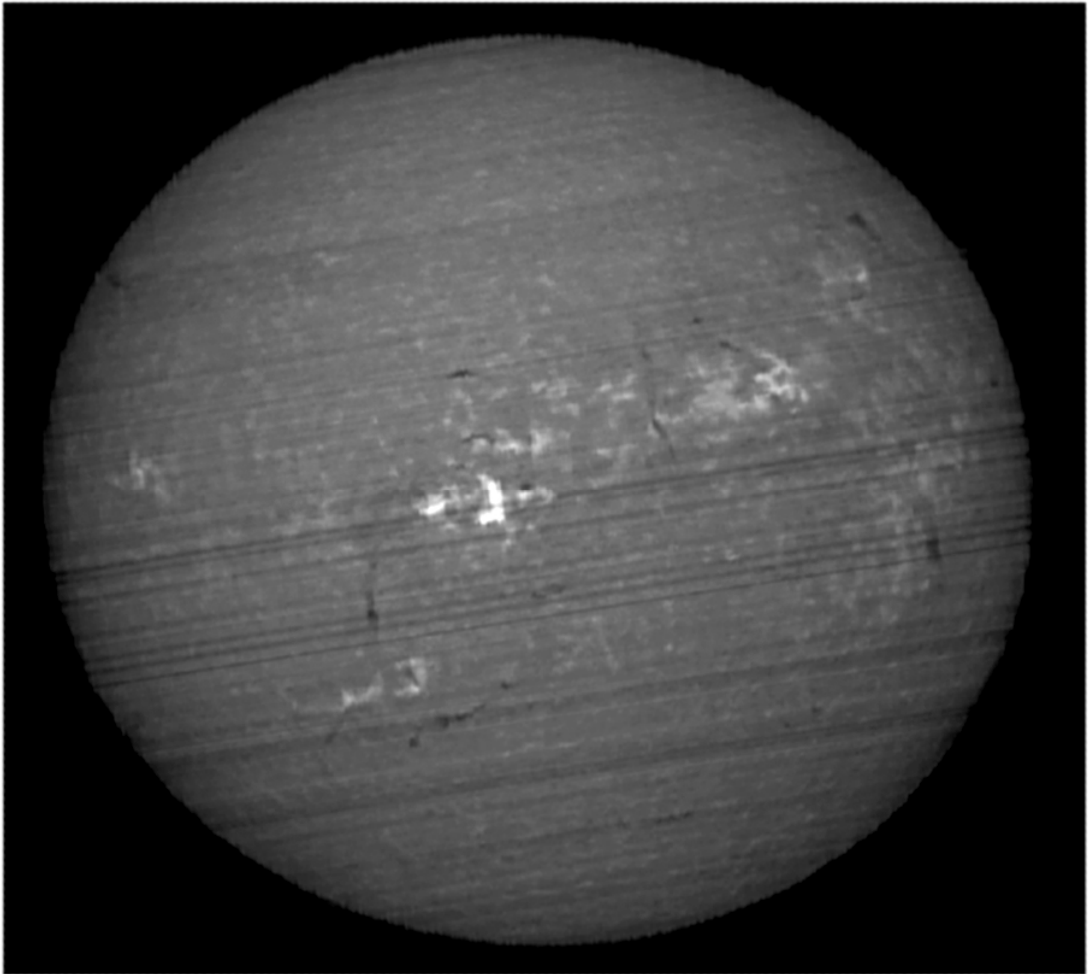


Lo spettrografo Solarscan sulla Losmandy G11 dell'autore

The spectrograph solarscan on G11 mount of the author

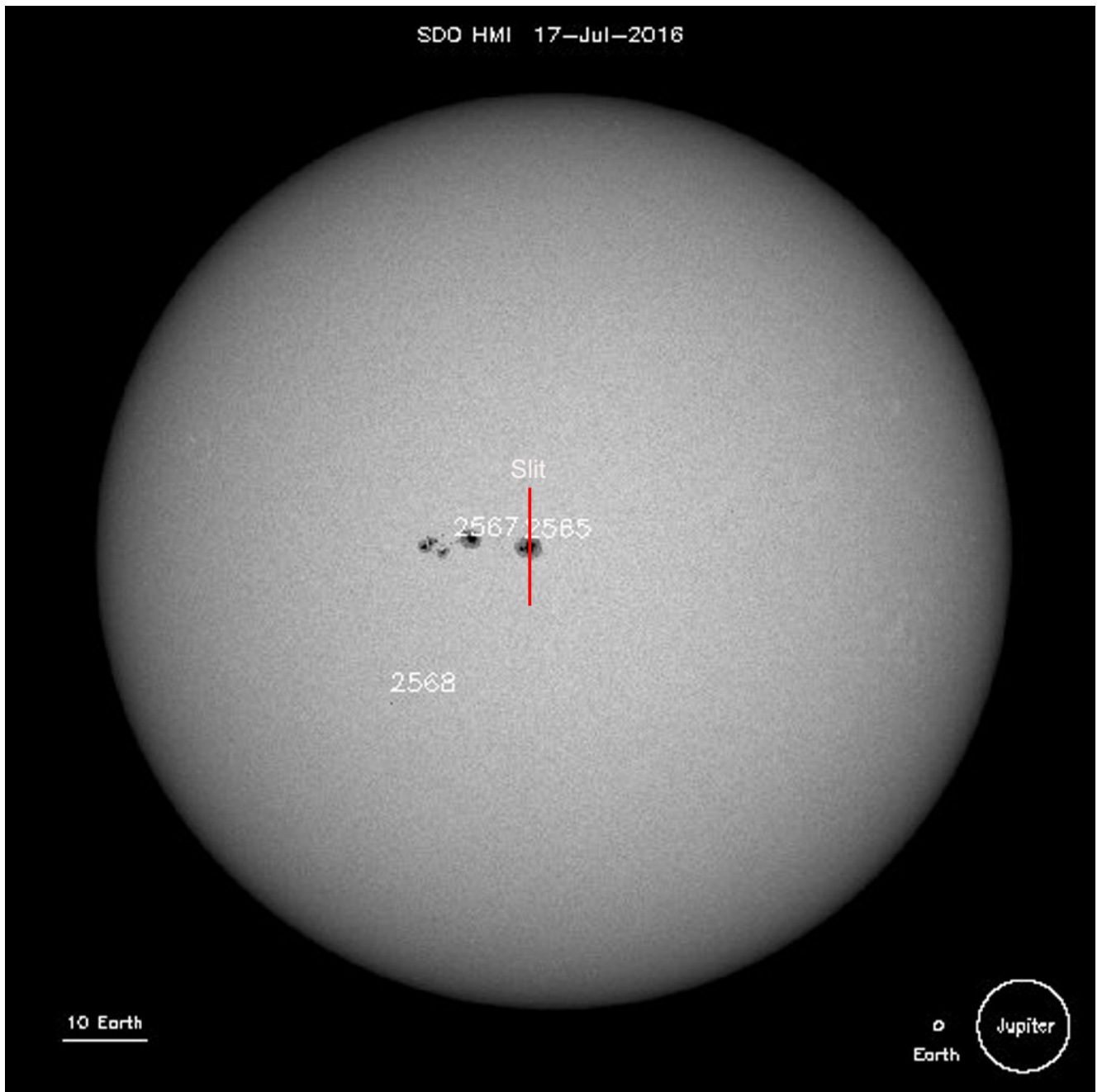
Per ottenere la massima risoluzione utile senza che il transversalium (le righe orizzontali dovute a diffrazione od imperfezioni della fenditura) rovinassero lo spettro, la fenditura è stata chiusa a circa 17 micron (ca 1/60 di mm) . La dispersione è stata di 0.021 Å/pixel e la risoluzione di circa 56.000 nella zona spettrale interessata , quindi inferiore a quella precedentemente ottenuta sull'AR 2546, al limite della visibilità del fenomeno. Ciò in quanto lo strumento operava in modalità spettroelioscopio, per l'acquisizione di un'immagine H alfa a 6562.8 Å del disco solare (di seguito riportata) e la fenditura era leggermente più aperta che in modalità spettroscopio.

To achieve the highest useful resolution without the transversalium (the horizontal lines due to diffraction or imperfections of the slit) ruined the spectrum, the slit was closed to about 17 microns (about 1/60 of mm). The dispersion was 0.021 Å / pixel and resolution of about 56,000 in the concerned spectral region, and lower than that previously obtained on RA 2546, the limit of visibility of phenomenon. This since the instrument was operating in spectrohelioscope mode, for capturing an H alpha image at 6562.8 Å in the solar disk (provided below) and the slit was slightly more open than in spectroscopy mode.



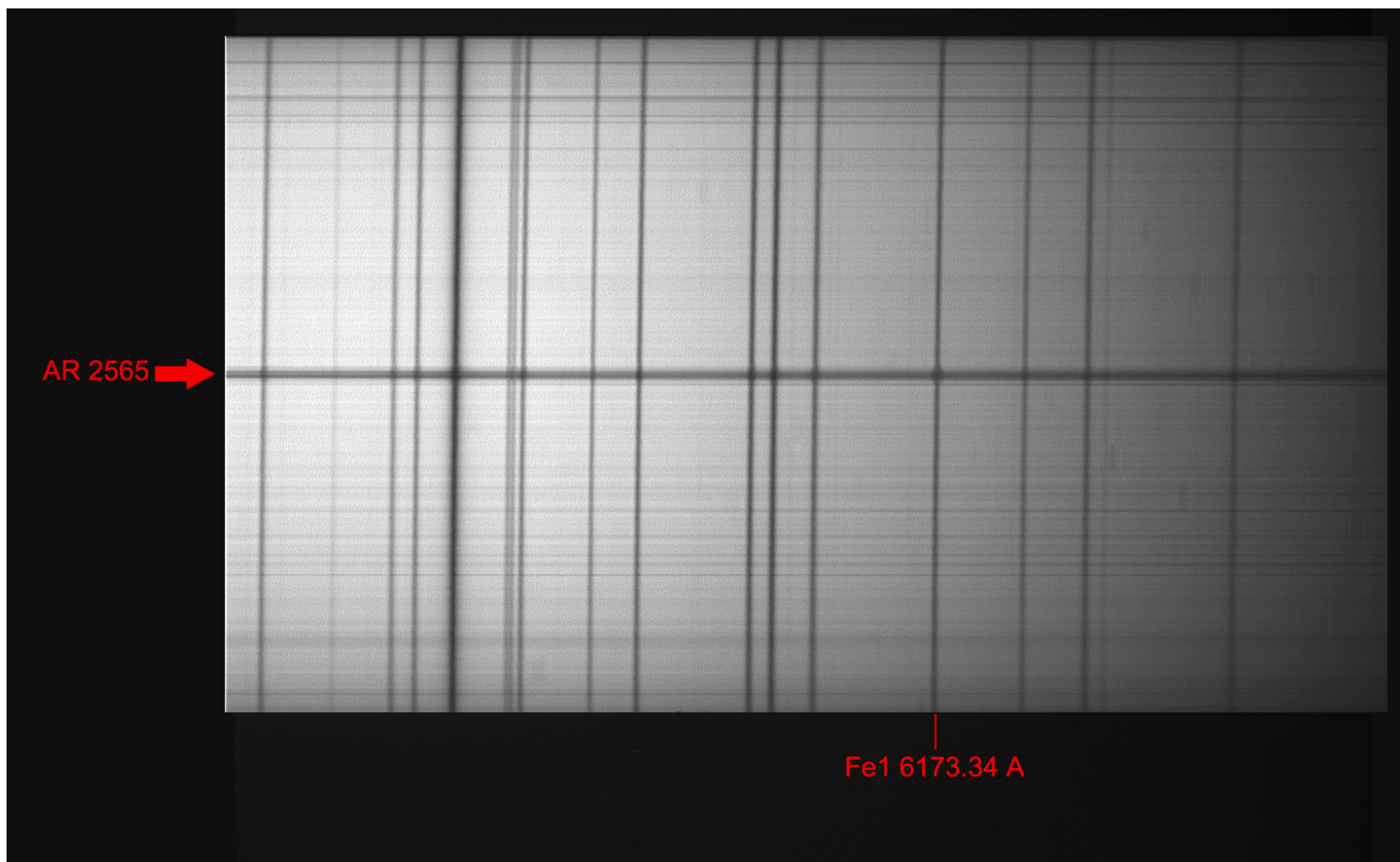
La posizione della fenditura sulla macchia era la seguente:

The position of the slit was the following



Lo spettro bidimensionale della riga Fe1 a 6173.34 Å, con l'applicazione di un leggero wavelet si presentava come nell'immagine sottostante:

The bidimensional spectrum of the Fe1 iron line at 6173.34 Å, with the application of a light wavelet filter was the following:

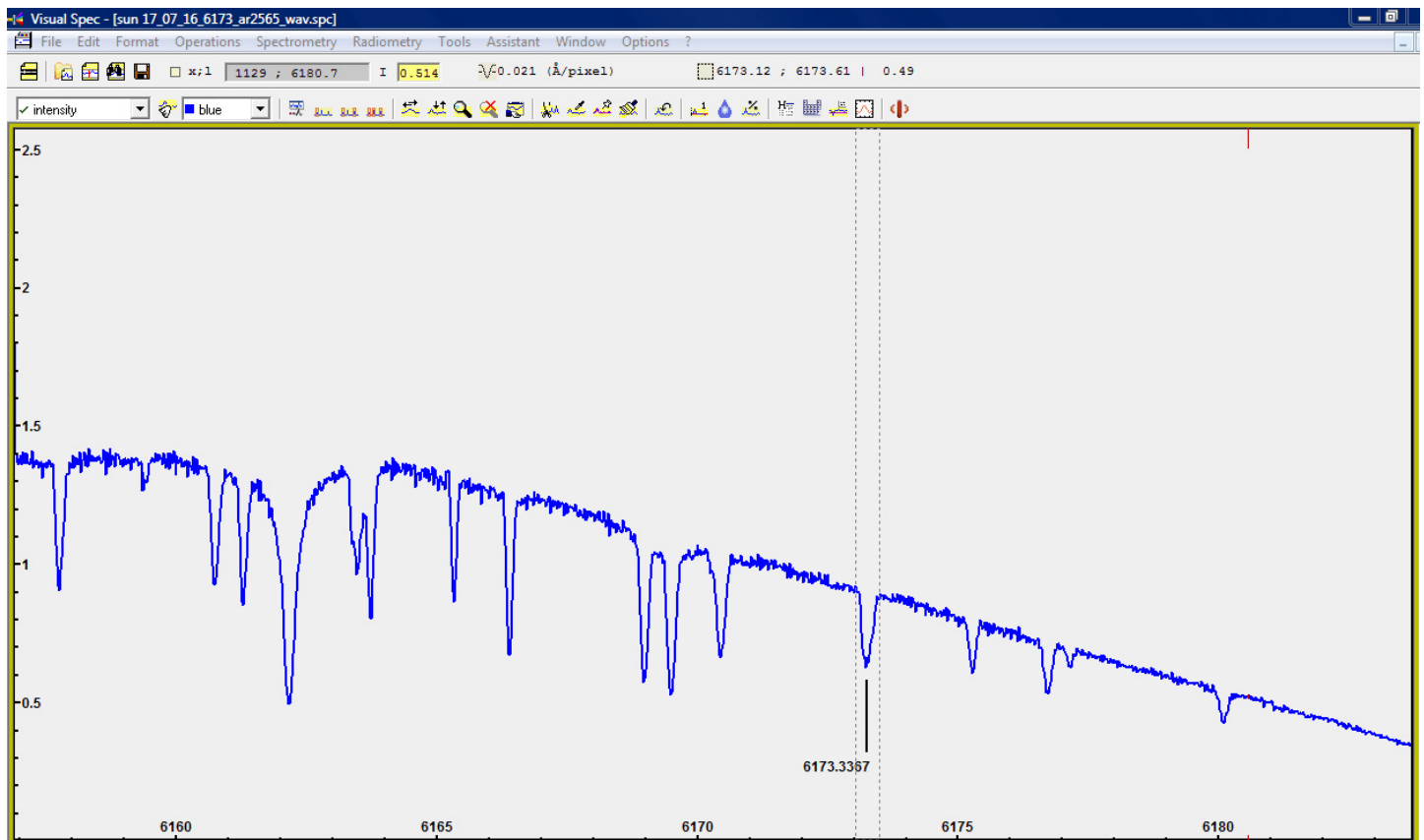


La riga dell'ossigeno atmosferico (ATM O2) a 6300.00 A costituiva la riga di controllo per gli effetti strumentali e non presentava ovviamente alcuno splitting. Anche questo appariva quindi un effetto Zeeman inverso longitudinale (anche se tale apparenza potrebbe essere dovuto alla modesta risoluzione del sistema rispetto a quelli professionali); e da esso si poteva risalire al campo magnetico in Gauss della macchia che lo aveva generato usando la formula già utilizzata in precedenza per la AR 2546, a patto di poter determinare con esattezza le dimensioni in Angstrom dello splitting della riga. Tale operazione è lungi dall'essere banale, e lo è ancor di meno nel caso in esame per la minore incisione dello splitting in quanto la semplice misurazione manuale dei pixel interessati con programmi generici tipo IRIS può generare errori anche di 2-3 pixel, mentre la misurazione diretta in Angstrom con programmi dedicati come Visual Spec, a causa dell'inclinazione delle righe sdoppiate può a sua volta generare errori. L'unica soluzione accettabile con VSpec è, a mio avviso, quella di restringere al massimo l'area di binning sulla parte dell'ombra dello spettro bidimensionale nella quale si ritiene che lo splitting debba essere massimo, sino ad assimilare la riga ad un punto individuato come riga singola dal programma nell'estrazione del profilo e derivare poi le lunghezze d'onda dei centri delle righe così ottenute: la loro differenza darà l'ampiezza complessiva, verso il blu e verso il rosso dello shifting, che andrà diviso per due (non apparendo il centro riga) per ottenere il delta lambda.

Stavolta lo splitting era molto meno evidente, per la minore profondità ed estensione della macchia e la minore risoluzione rispetto alla 2546 .

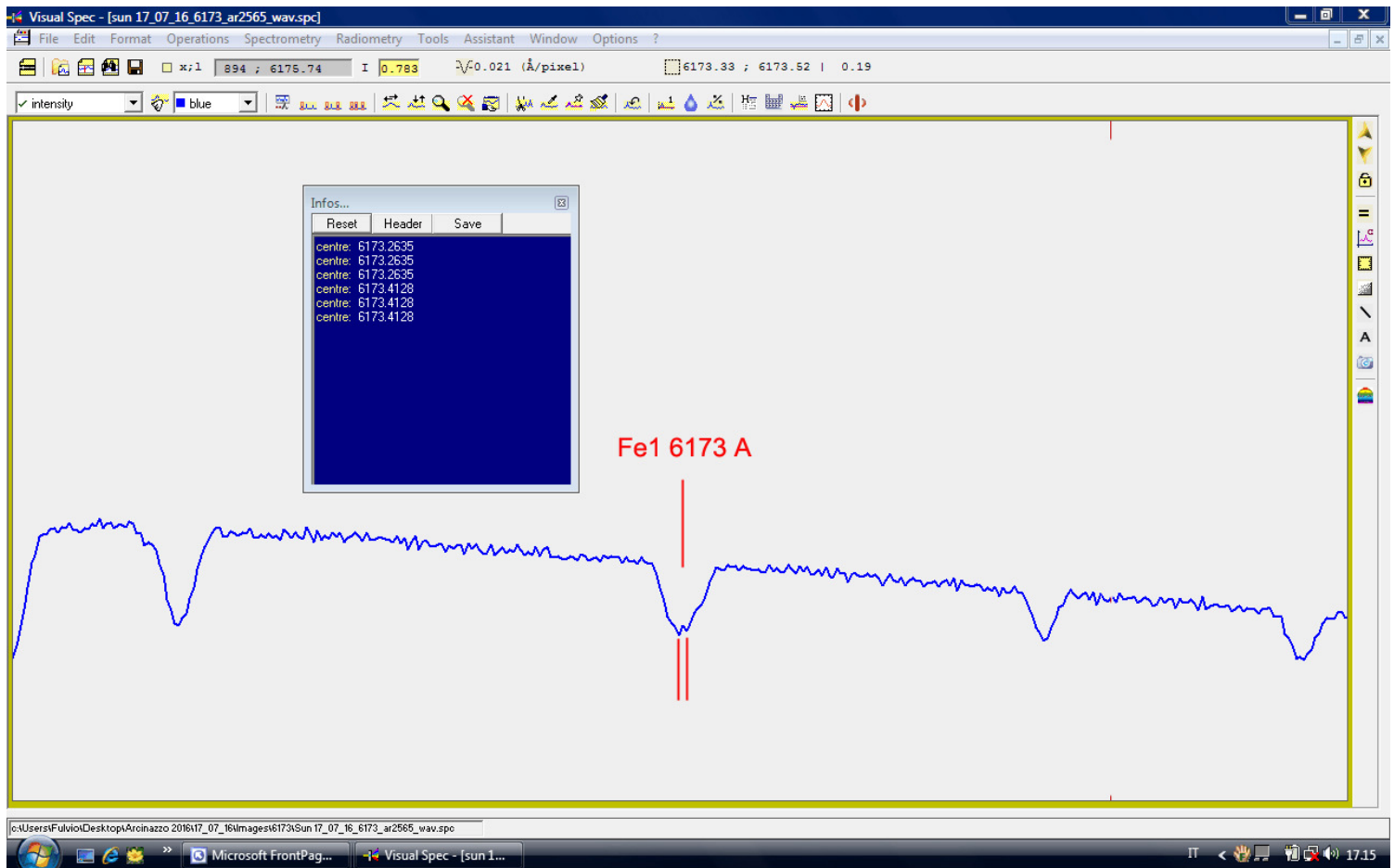
The atmospheric oxygen line (ATM O2) to 6300.00 Å was the control line to the instrumental effects and obviously not presented any splitting. Also this appeared then to be a reverse longitudinal Zeeman effect (although such appearance could be due to the modest resolution of the system respect to the professional ones); and from it could be traced back to the magnetic field in Gauss of the sunspot that had generated it using the formula previously used for the AR 2546, assuming that they can get the exact size in angstrom of splitting of the line. This operation is far from trivial, and it is even less in this case for the smaller incision of splitting since the manual measurement of the affected pixel with generic IRIS type programs can generate 2-3 pixel errors, while the direct measurement of the barycentre in Angstrom with dedicated programs like Visual Spec, can in turn generate errors because of inclination of the splitted lines. The only acceptable solution with Vspec is, in my opinion, to restrict to the maximum the binning area on the part of the sunspot umbra of the two-dimensional spectrum in which it is believed that the splitting should be maximum, up to assimilate the line to a point identified as a single line from program during the extraction of the profile, and then derive the wavelengths of the lines of the thus obtained centers: their difference will give the overall width, toward blue and towards the red end of the shifting, which will be divided by two (not appearing on the center line) to obtain the $\Delta\lambda$.

This time, the splitting was much less evident, thanks to a lower depth and extent of the sunspot and lower resolution than AR 2546.



Ho quindi esteso il profilo sull'asse X(rotellina del mouse) in modo da allargare la riga rendendone più facilmente individuabili le cuspidi, delle quali ho calcolato il centro riga con tre misure successive, tutte peraltro coincidenti. La differenza di lunghezza d'onda delle due righe splittate era pari a $6173.413 - 6173.263 = 0.15 \text{ \AA}$, ed il d lambda di $0.075 \text{ \AA}$.

I then estende the profile on the X axis (mouse wheel) so as to widen the line making it easier to identify the cusps, of which I calculated the center line with three successive measures, that in this case were all coincident. The difference in wavelength of the two splitted lines stood at $6173.413 - 6173.263 = 0.15 \text{ \AA}$, and d lambda of $0.075 \text{ \AA}$.



Con la formula di B usata in precedenza si otteneva:

With the formula of B previously used we got:

$$B = \frac{0.075}{\frac{4.67 \cdot 38105929 \cdot 2.5}{10^{13}}} = \frac{0.075 \cdot 10^{13}}{444886721} = 1686 \text{ Gauss}$$

L'errore delle tre misure non era rilevato, e comunque, ammettendo un errore statistico complessivo simile al caso precedente del 3.4% si ottiene 1686 +- 57 Gauss .

The error of the three measures was not detected, and in any case, assuming an overall statistical error similar to the above case of the 3.4% obtained in 1686 + - 57 Gauss.

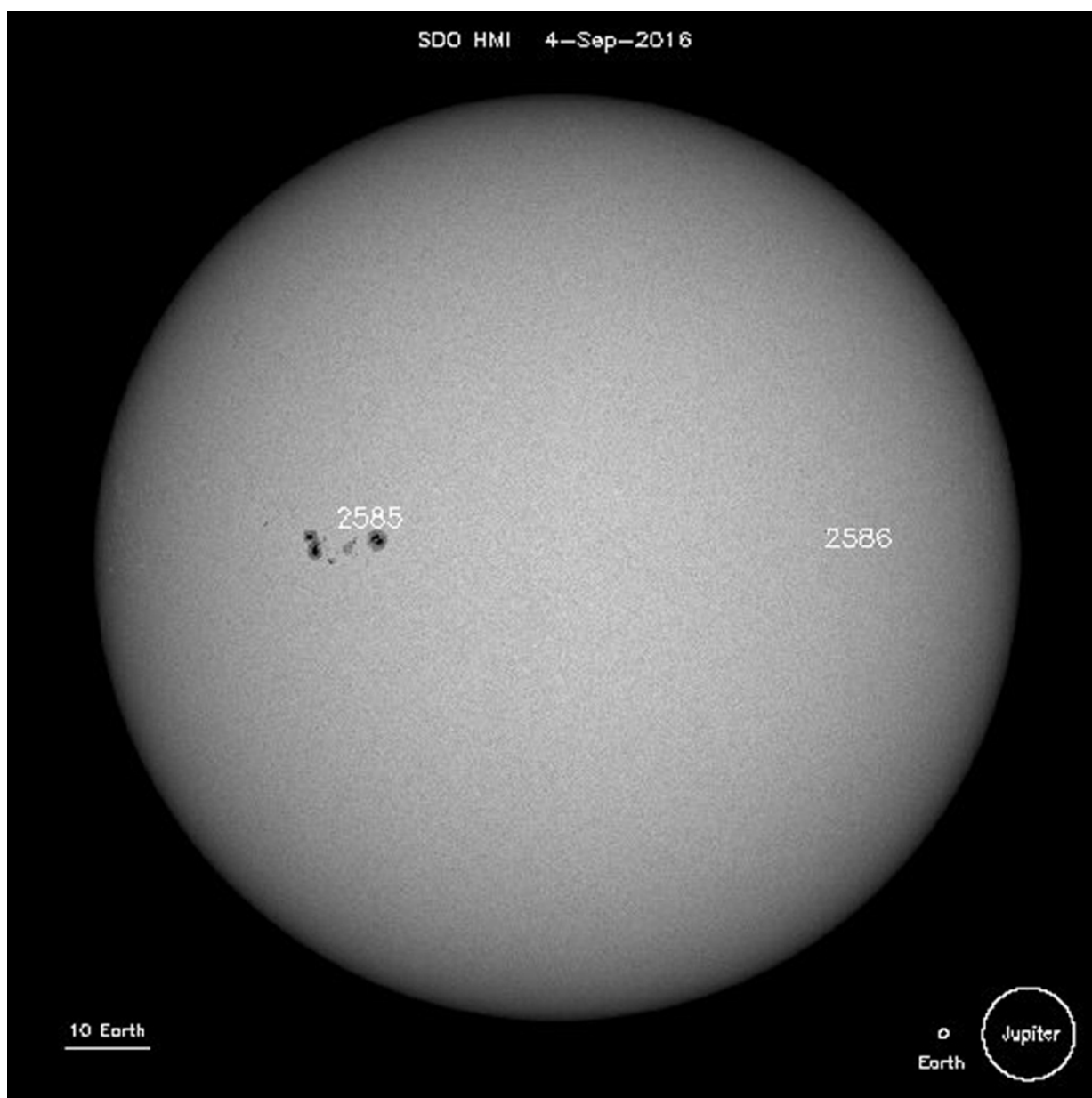
L'osservazione del 4 settembre 2016.

The observation of september, 16, 2016

1- Il target

All'inizio di settembre 2016 è apparsa sul sole una regione attiva con un gruppo di macchie di discreta estensione, contrassegnata col n. 2585. Si trattava di un gruppo cospicuo, formato da due macchie di discrete dimensioni.

At the beginning of 2016 appeared in the sun a noticeable group of sunspots, marked with the number 2585: it was formed by two main sunspots.



***Il gruppo di macchie in questione a livello fotosferico il giorno 4 settembre 2016 ,
fonte SOHO-MDI.***

The group in question, source SOHO-MDI

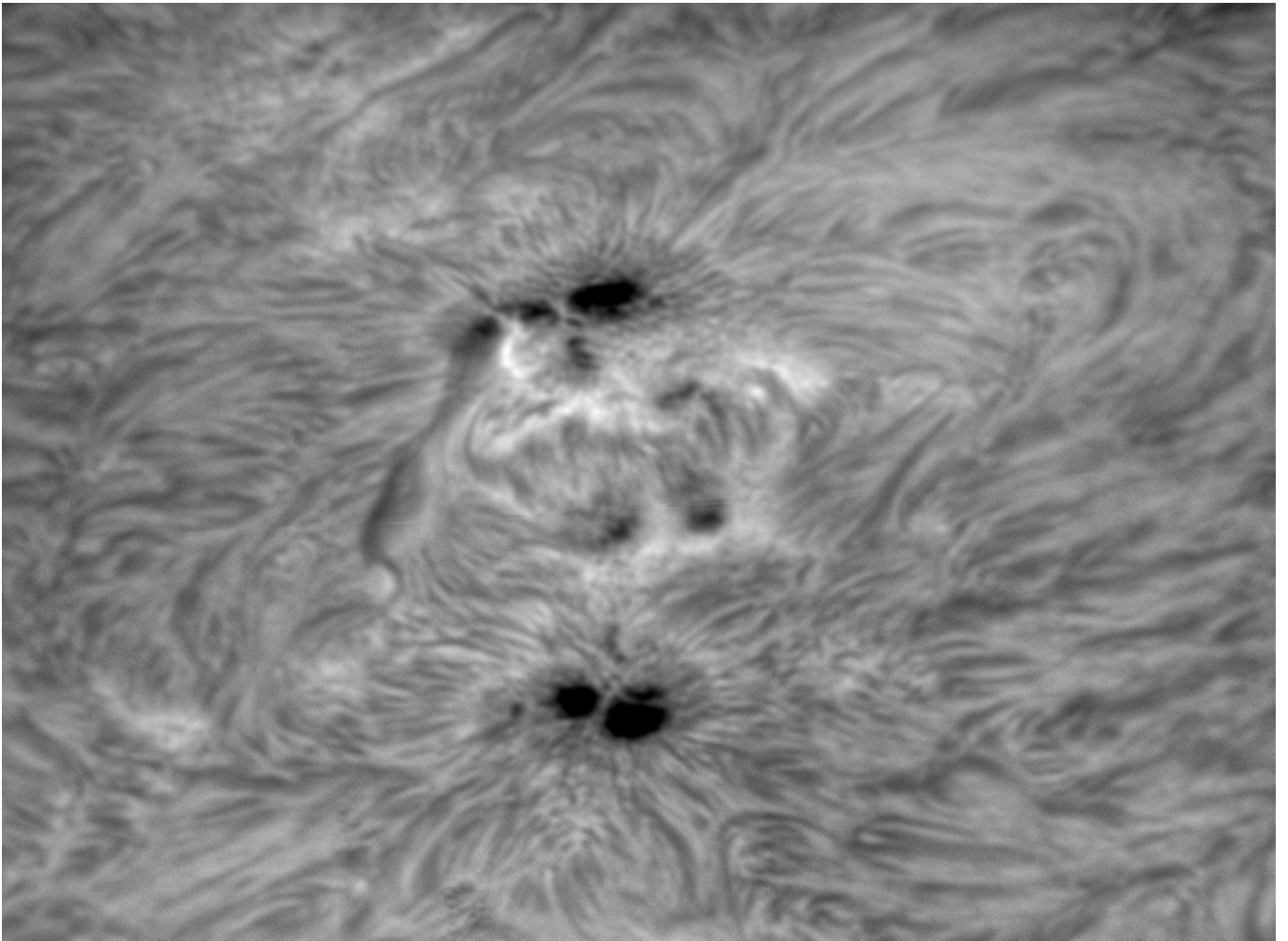
2- La strumentazione usata

La strumentazione usata è stata anche stavolta lo spettrografo-spettroelioscopio digitale ad alta risoluzione Solarscan, progettato da chi scrive e sviluppato dalla nota ditta Avalon di Aprilia (RM). Nel caso specifico lo strumento è stato montato su una Losmandy G11. La camera usata è stata , come nei casi precedenti, una Imaging Source DMK 41 AS, con sensore Sony ICX 205 AL e pixel da 4.65 micron, con la quale è stato ottenuto un filmato dello spettro di 500 frames mediati con Registax senza

alcuna forma di elaborazione (solo stacking). Tuttavia, per incrementare la visibilità della divisione della riga è stato applicato un leggero filtro wavelet come nei casi precedenti. Per ottenere la massima risoluzione utile senza che il transversalium (le righe orizzontali dovute a diffrazione od imperfezioni della fenditura) rovinassero lo spettro, la fenditura è stata chiusa a circa 15 micron (ca 1/66 di mm) . La dispersione è stata di 0.021 Å/pixel e la risoluzione di circa 72.000 nella zona spettrale interessata.

2- The equipment used

The instrumentation used was once again the high resolution digital spectrograph-spectroheliograph Solarscan, designed by the writer and developed from known firm Avalon Aprilia (RM) and used for previous observations .The camera was the usual Imaging Source DMK 41 AS, with Sony ICX 205 AL sensor and pixels 4.65 micron, with which it was obtained a video of 500 frames of the sun spectrum centered on Fe I 6173 line, mediated by Registax without any form of processing (only stacking) .However, to increase the visibility of the line division was applied a light wavelet filter as in precedent cases .For useful maximum resolution without the transversalium (horizontal lines due to diffraction of the slit or imperfections) can ruin the spectrum, the slit jaws were closed to 15 microns (about 1/66 of a mm). The dispersion was 0.021 Å / pixel and resolution of about 72,000 in the relevant spectral region.

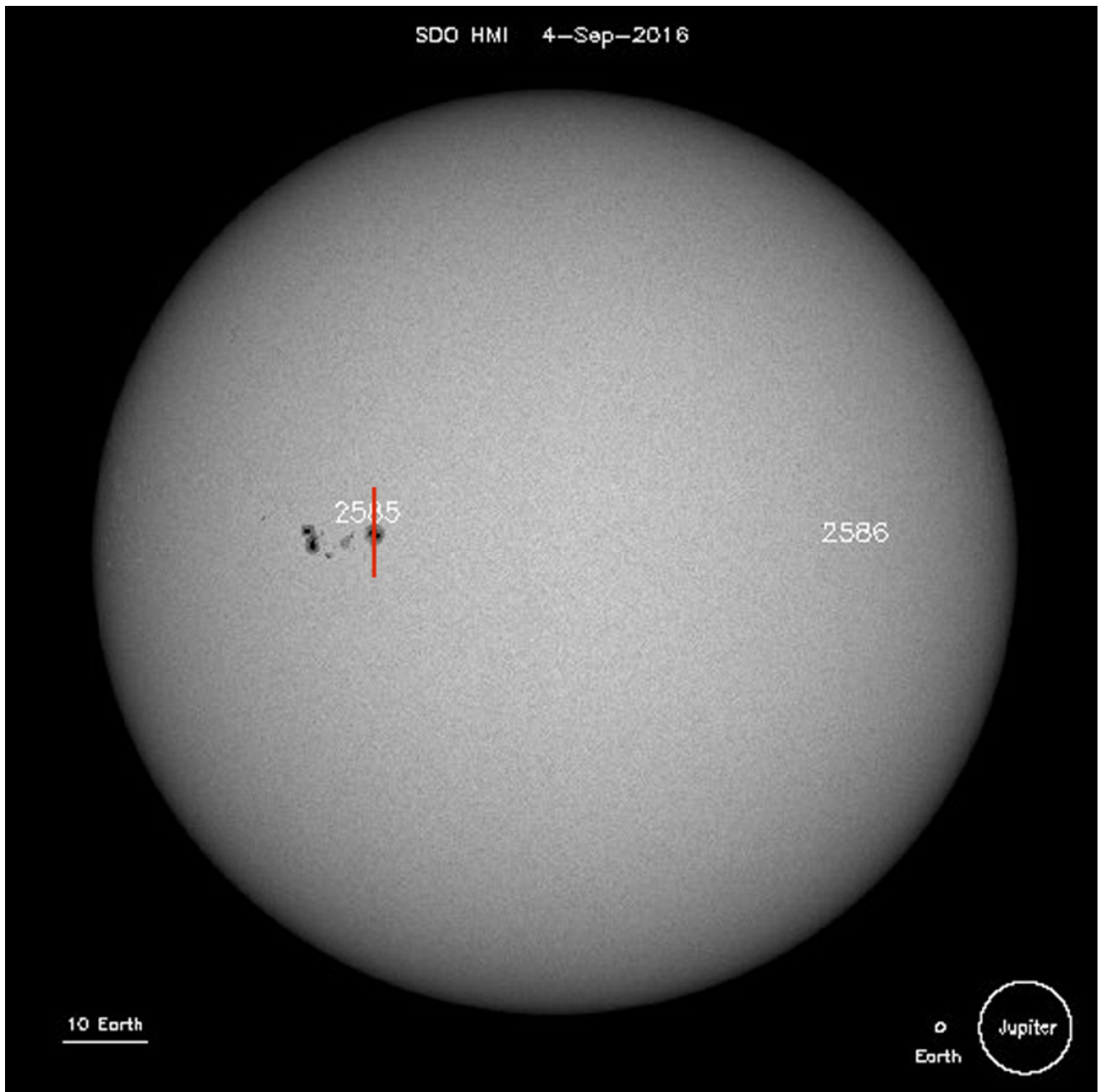


Il gruppo AR 2585 a livello cromosferico. Foto H alpha dell'autore con un Daystar Quark.

The group AR 2585 at chromospheric level, photo of the author with a Daystar Quark

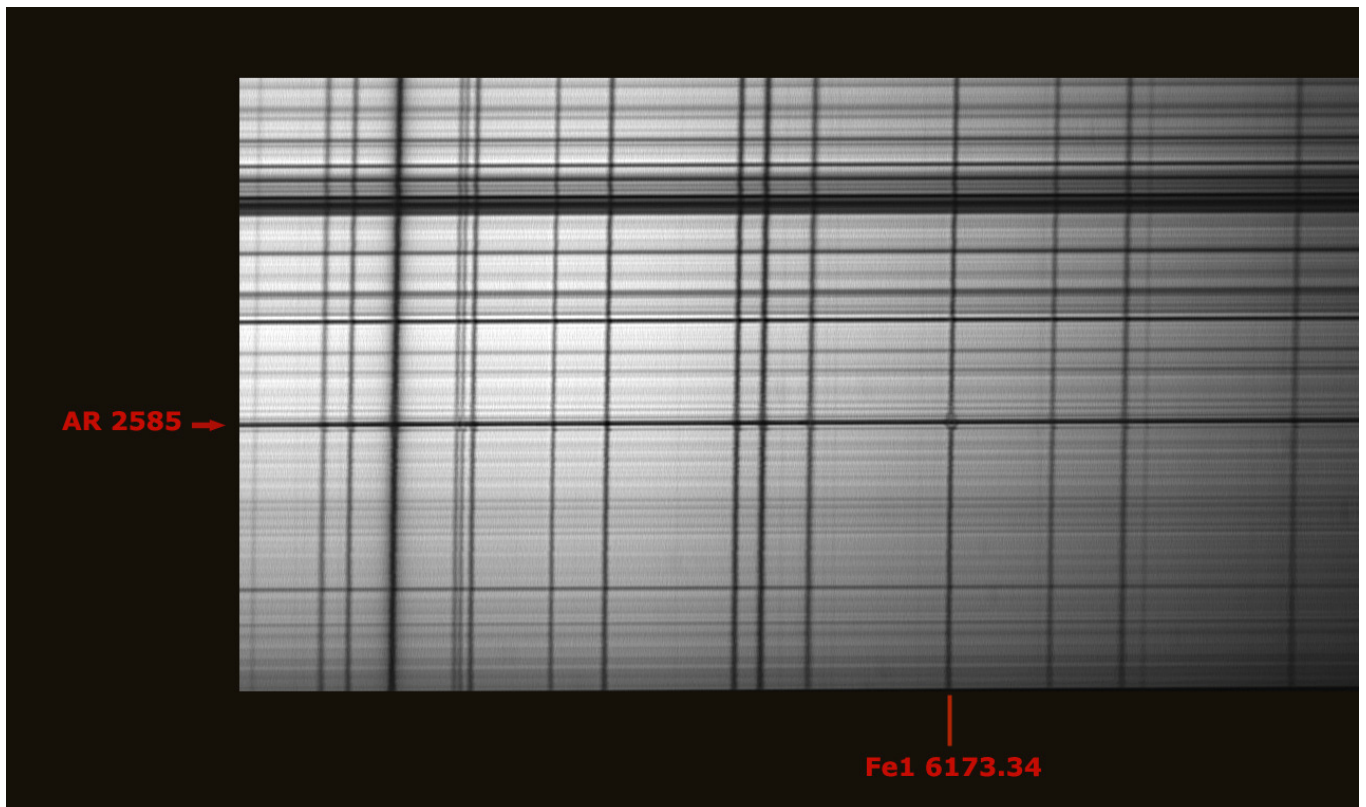
La posizione della fenditura sulla macchia era la seguente:

The position of the slit on the sundisk was the following:



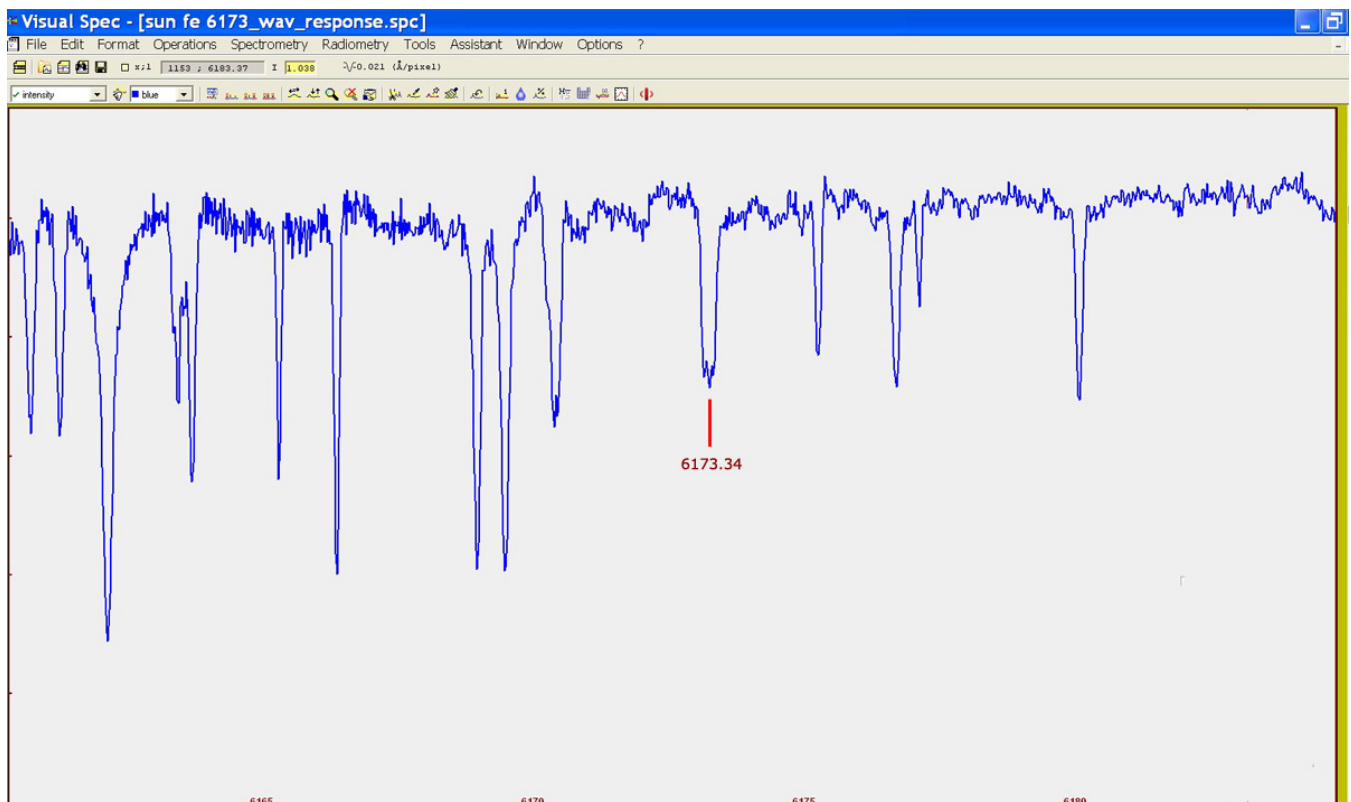
Lo spettro bidimensionale della riga Fe1 a 6173.34 Å, con l'applicazione di un leggero wavelet si presentava come nell'immagine sottostante:

The bidimensional spectrum of the Fe1 line at 6173.34 Å was as follows:



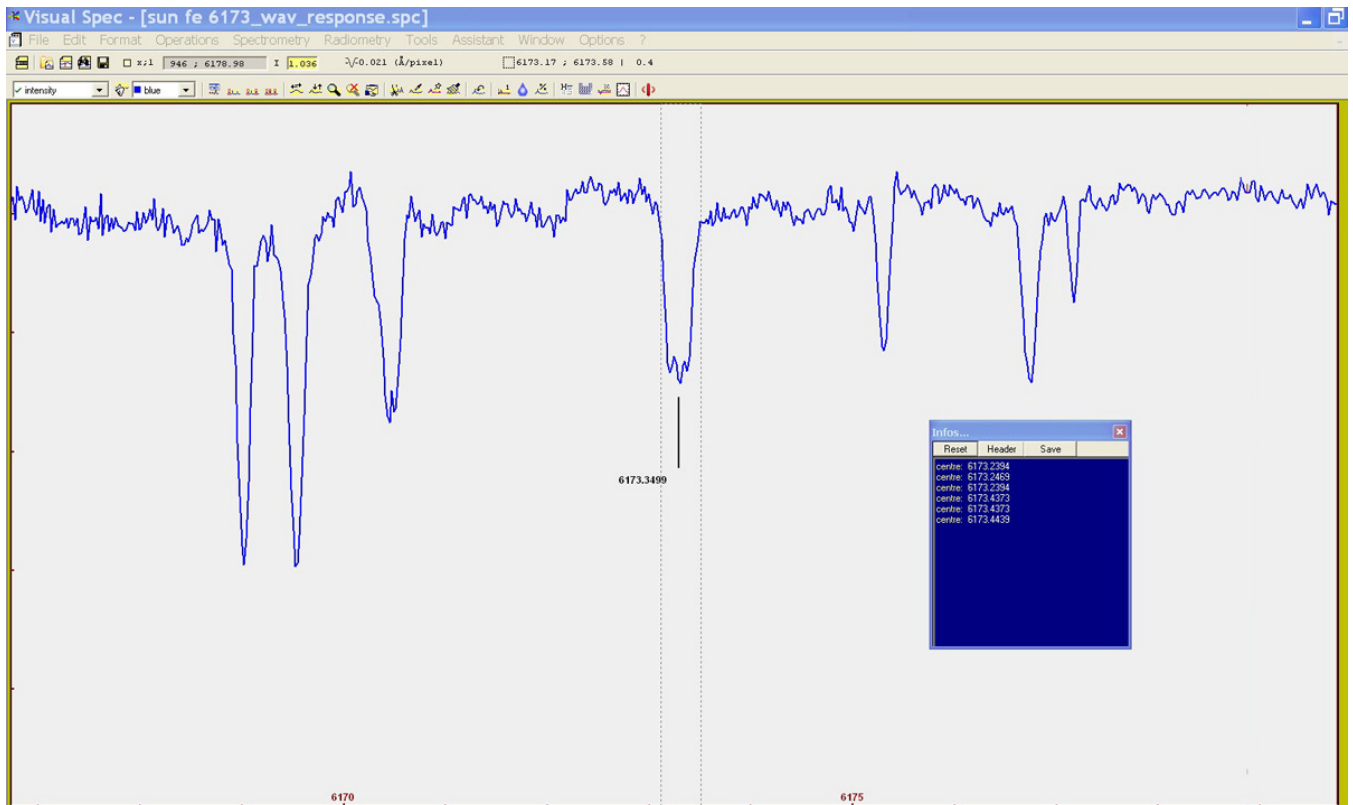
Anche stavolta, per determinare con esattezza le dimensioni in Angstrom dello splitting della riga. è stato usato il programma VSpec, restringendo al massimo l'area di binning sulla parte dell'ombra dello spettro bidimensionale nella quale si ritiene che lo splitting debba essere più esteso, dividendo per due il risultato per ottenere il delta lambda. Stavolta ho anche corretto per la risposta il profilo spettrale, anche se ho dovuto utilizzare per la correzione uno spettro professionale a bassa risoluzione di una stella G2V esistente nella libreria di VSpec.

Again, to determine the exact size in Angstrom of splitting the line has been used Vspec software, restricting the most of the binning area on the part of the umbra of the two-dimensional spectrum in which it is believed that the splitting should be most extended , dividing the result by two to get the delta lambda. This time I also corrected for the spectral response profile, even though I had to use for correction a low-resolution professional spectrum of a G2V star in the existing Vspec library.



Ho quindi esteso il profilo sull'asse X con la rotellina del mouse in modo da allargare la riga rendendone più facilmente individuabili le cuspidi, delle quali ho calcolato il centro riga con tre misure successive, poi mediate. La differenza di lunghezza d'onda delle due righe splittate era pari a $6173.4395 - 6173.2419 = 0.1976 \text{ \AA}$, ed il d lambda di $0.0988 \text{ \AA}$. E' interessante notare che stavolta si osserva abbastanza bene nel profilo anche la parte centrale della riga, e quindi sembrerebbe trattarsi di un effetto Zeeman ortogonale anzichè longitudinale. La visibilità o meno della parte centrale potrebbe tuttavia essere anche dovuta al seeing, per cui spesso risulta difficile la definizione del tipo di Zeeman.

I then extended profile on the X axis with mouse wheel so as to widen the line making it easier to identify the cusps, of which I calculated the center line with three successive measurements, then mediated. The difference in wavelength between the splitted two lines stood at $6173.4395 - 6173.2419 = 0.1976 \text{ \AA}$, and d lambda $0.0988 \text{ \AA}$. It's interesting to note that this time was observed quite good in the profile also the central part of the line, and then it would seem be a perpendicular rather than longitudinal Zeeman effect. The visibility or not the central part may however, can also be due to seeing, so it is often difficult to define the type of Zeeman.



Con la formula di B già usata in precedenza si otteneva:

With the formula of B previously used, we got:

$$B = \frac{0.0988}{\frac{4.67 \cdot 38105929 \cdot 2.5}{10^{13}}} = \frac{0.0988 \cdot 10^{13}}{444886721} = 2221 \text{ Gauss}$$

L'errore delle tre misure non era rilevato, e comunque, ammettendo un errore statistico complessivo simile al caso precedente del 3.4% si ottiene 2221 +- 75 Gauss. Anche stavolta la macchia presentava un cospicuo light bridge e faceva parte di un gruppo piuttosto esteso.

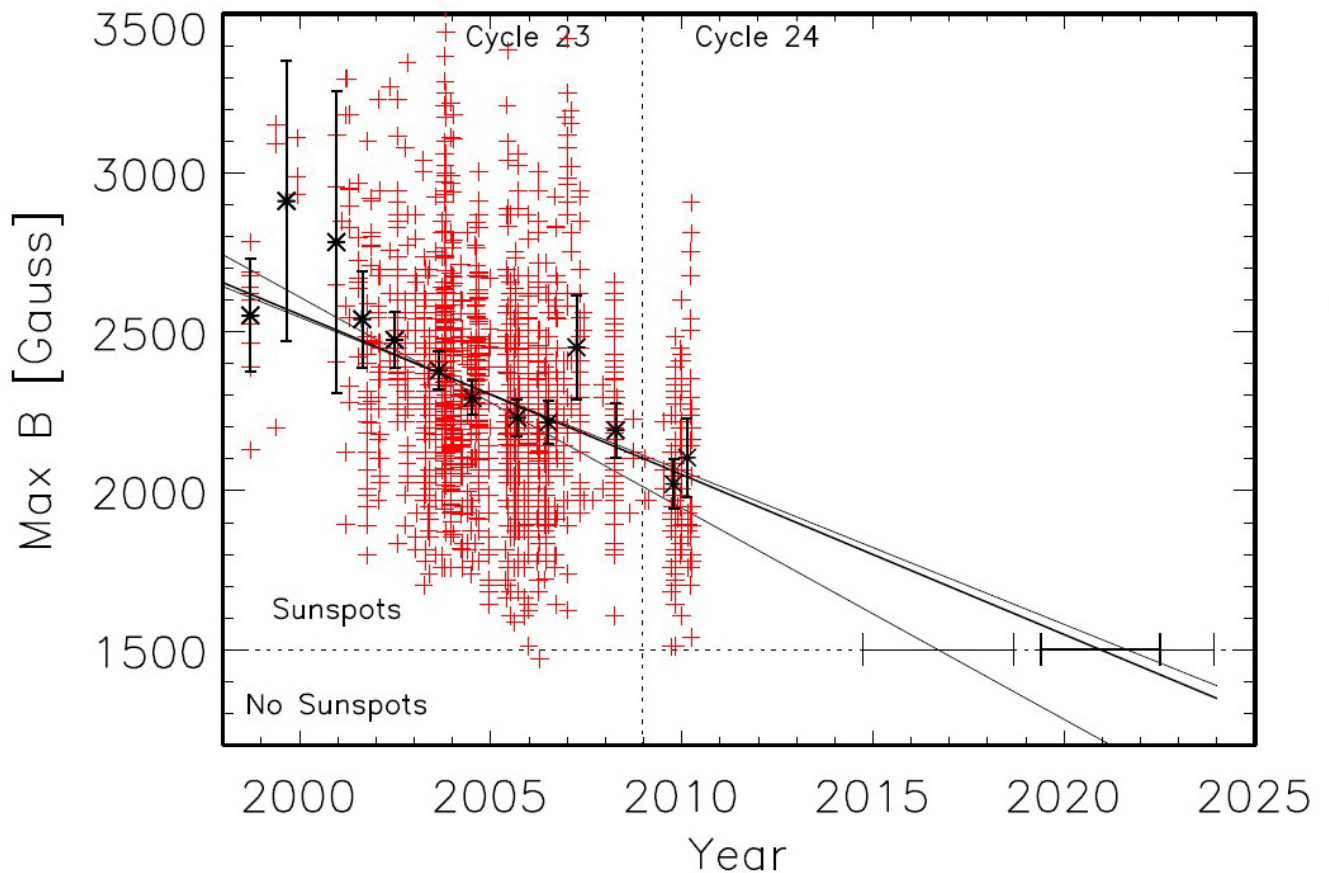
The error of the three measures was not detected, and in any case, assuming an overall statistical error of 3.4% similar to the previous case, you get 2221 +- 75 Gauss. Also this time the sunspot had a large light bridge and was part of a fairly large group.

Il confronto dei risultati con gli articoli scientifici sul tema

The comparison of results with scientific article in the topic

Si è acceso negli ultimi anni un approfondito dibattito sulla ricerca effettuata da Penn e Livingston nel 2011 sui dati forniti dal NSO Kitt Peak McMath-Pierce telescope sullo splitting Zeeman della riga Fe 1 a 15648 Å, che, ad avviso dei predetti, mostravano un costante calo nei valori in Gauss dei campi magnetici delle ombre delle macchie solari durante il ciclo 23 e l'inizio del 24, al punto da far ritenere, perdurando il trend, la quasi totale scomparsa delle macchie nel corso del ciclo 25.

He came on in the last few years a thorough debate on the research carried out by Penn and Livingston in 2011 on data provided by the NSO Kitt Peak McMath-Pierce telescope on the Zeeman splitting of the Fe line 1 to 15648 Å, which, in the view of the above, showed a steady decrease in Gauss values of the magnetic fields of the umbras of sunspots during cycle 23 and the beginning of 24, at the point to suggest, if the trend persists, the almost complete disappearance of the sunspots during cycle 25.

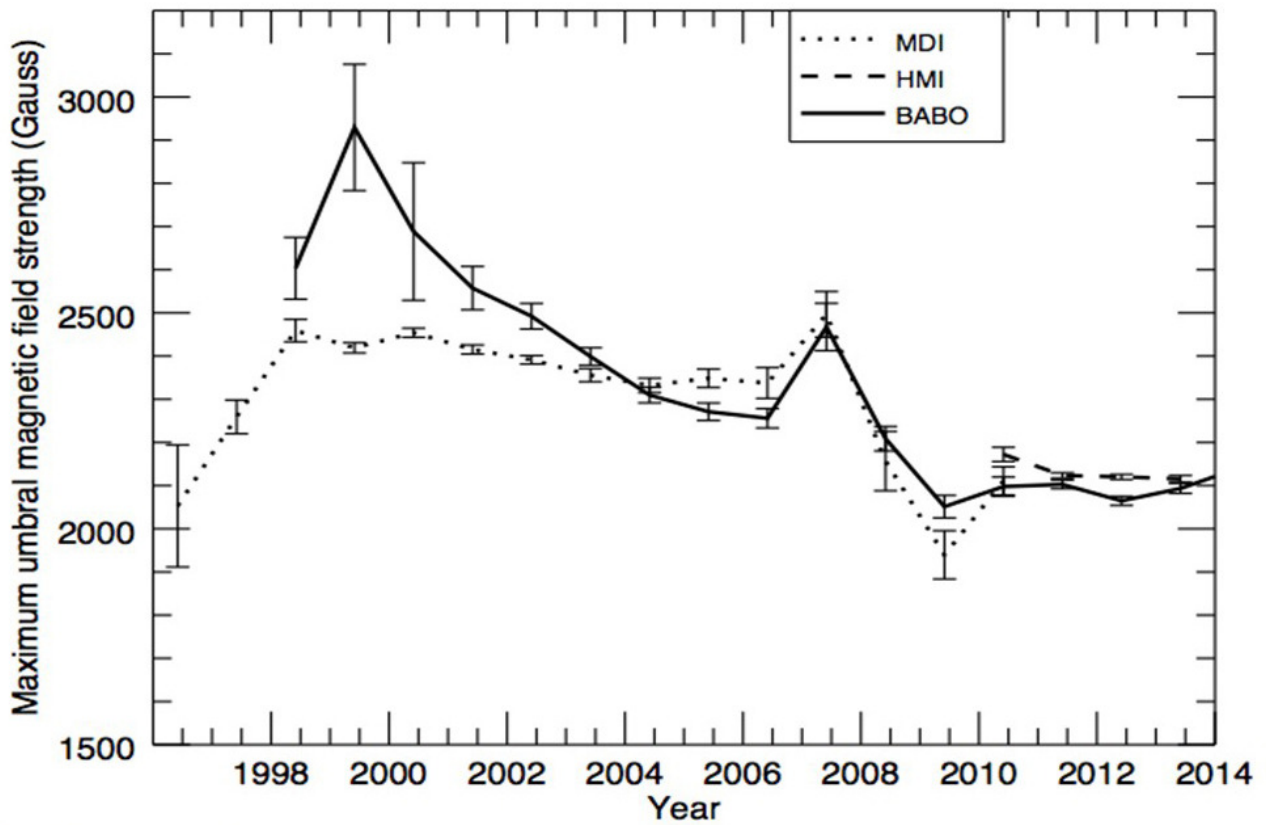


Il range di osservazioni riportato nel lavoro spaziava dal 2000 al 2010, e come si osserva dal diagramma, mentre in un primo tempo comprendeva le macchie di maggior grandezza, successivamente fu esteso anche a quelle molto piccole, nonostante le difficoltà.

The range of observations reported in the job ranged from year 2000 to 2010, and as can be seen from the diagram, while at first included the spots of greatest magnitude, it was later extended to very small, notwithstanding the difficulties.

Una successiva ricerca di Fraser Watson (NSO) nel 2014 sui dati MDI, HMI e BABO sviluppò il trend risultante nell'immagine sottostante:

A further research of Fraser Watson on MDI, HMI and BABO data developed the trend of the following image:



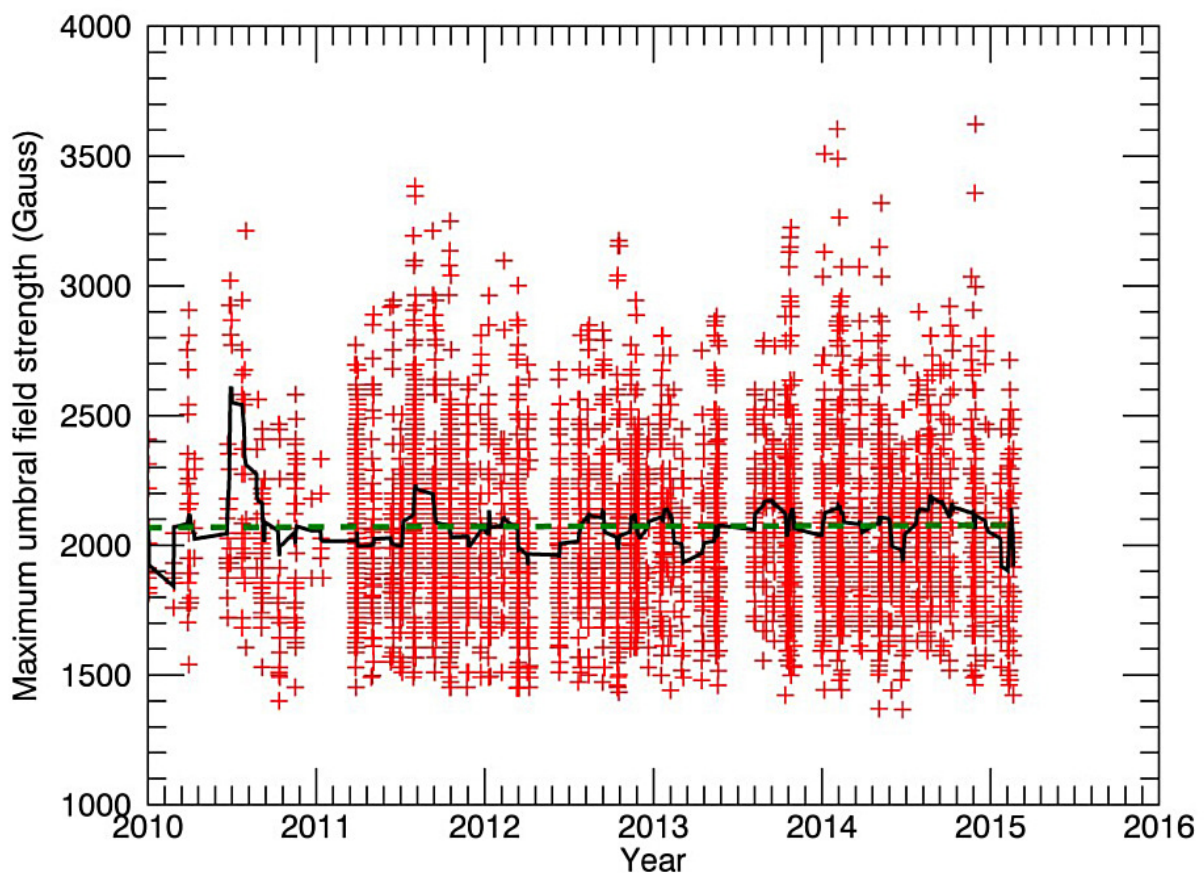
Un ancora più recente lavoro di Livingston e Fraser Watson, del **novembre 2015** ha misurato la forza magnetica (field strenght) di 4145 zone umbrali di macchie con lo splitting Zeeman della riga Fe1 a 15648.5 A evidenziando:

- 1- Che la forza magnetica dell'ombra delle macchie nel vicino IR è **indipendente dal ciclo e costante nel tempo**
- 2- Che la media di tale forza ammonta a **2050 Gauss +/- 20 Gauss**

An even more recent work of Livingston and Fraser Watson, of November 2015 has measured the magnetic force (field strength) of 4145 umbral areas of spots with the Zeeman splitting of the FE1 row 15648.5 A highlighting:

1- That the magnetic force of the umbra of sunspots in the near IR is independent of the cycle and constant in time.

2- That the average of this strength amounts to 2050 Gauss + -20 Gauss.



I dati giornalieri , compresi quelli di mancata osservazione sono espressi dalla linea nera, mentre quella tratteggiata verde è il fit lineare di tutti i dati della serie.

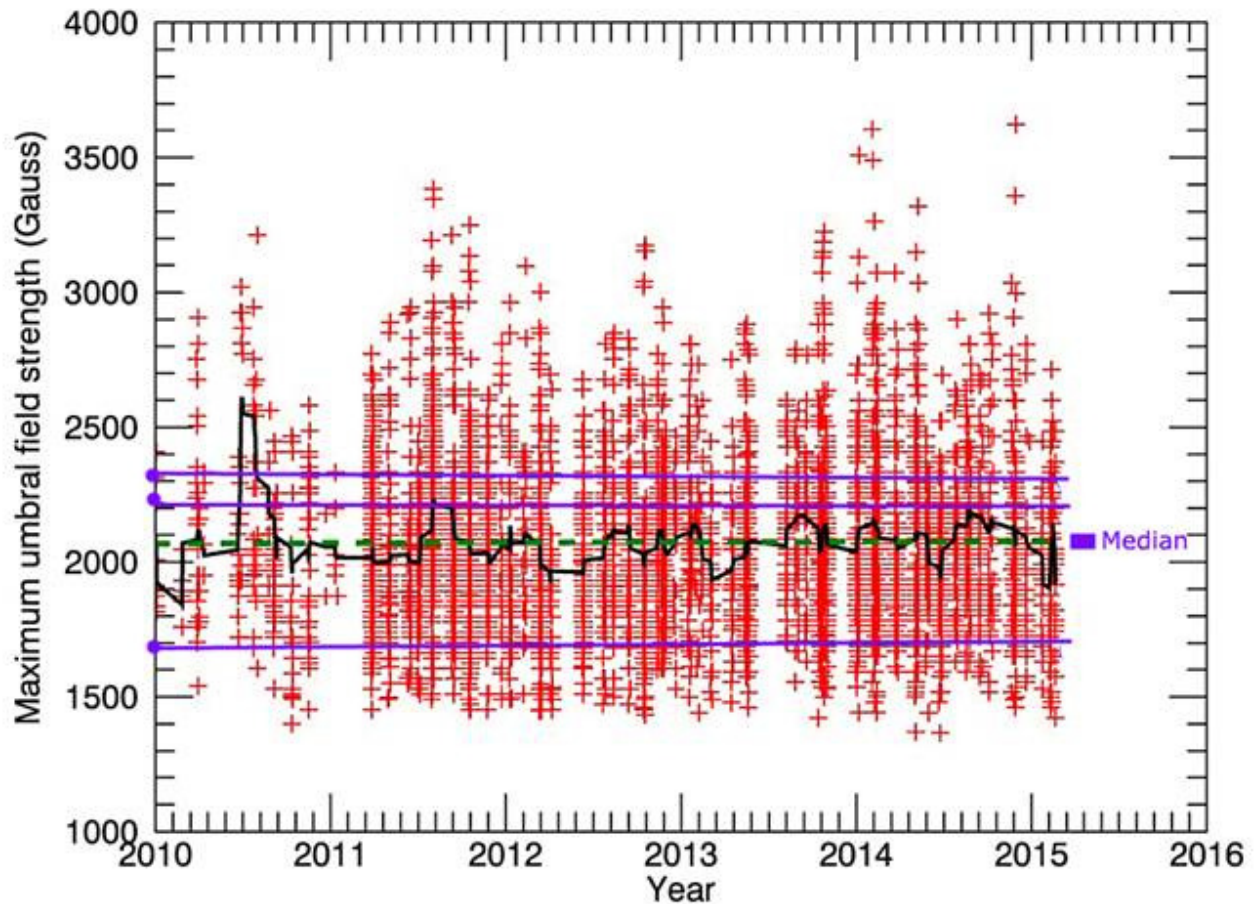
The daily data, including those of non-observance are expressed by the black line, and the dotted green is the linear fit of the data series.

I valori di B dell'ombra delle AR 2546 e 2565 e 2585 dell'anno 2016 da me trovati, pari rispettivamente a 2313, 1686 e 2221 risulta completamente compatibile col trend risultante dall'indagine di Fraser Watson e Livingstone e Fraser Watson nel recente paper del 2015 , piuttosto che con il trend originariamente proposto da Penn e Livingston. Inoltre, come si può osservare dall' elaborazione delle precedenti immagini con le mie osservazioni, la media dei valori di queste (2073 G) contrassegnata da un rettangolo viola, coincide esattamente con la media dei valori di G delle 4145 macchie solari degli ultimi 5 anni di cui al paper del 2015.

Naturalmente si tratta di un modesto contributo, ricavato nel visibile e con una strumentazione amatoriale: saranno necessarie molte altre osservazioni per stabilire un trend: la strada è lunga, ma è tracciata: per la prima volta in Italia un amatore ha detto la sua in una delle più complesse e dibattute questioni della fisica solare.

The B values in the umbra of the AR 2546 and 2565 and in 2585 the year 2016 I found, respectively in 2313, 1686 and 2221 is fully compatible with the trends resulting from the survey Fraser Watson and Livingstone and Fraser Watson in the recent paper of 2015, rather than with the trend originally proposed by Penn and Livingston. Furthermore, as can be seen from processing of previous diagrams with my observations, the average of the values of these (2073 G) marked by a purple rectangle coincides exactly with the average of the G values of 4145 sunspots of the last five years referred to in the 2015 paper.

Of course it is a modest contribution, obtained in the visible and with amateur equipment: many more observations to establish a trend: the road is long, but it is drawn: for the first time in Italy a lover told her in this will involve a the most complex and debated questions of solar physics.



Ma perché tutta questa attenzione verso i campi magnetici e, per converso, l'esistenza delle macchie solari? Perché sembra che la loro dinamica possa avere un impatto sul clima terrestre: famoso è l'esempio del minimo di Maunder, dal 1645 al 1715, contrassegnato da una attività solare estremamente debole e da un clima molto freddo, al punto da essere denominata "piccola era glaciale". Relativamente al numero delle macchie di questo ciclo, riporto nell'immagine che segue, (fonte NASA-ARC) l'andamento del numero di Wolf aggiornato al mese di ottobre 2016. E' di tutta evidenza l'anomalia del ciclo 24 rispetto al precedente.

But why all this focus on the magnetic fields and, conversely, the existence of sunspots? Because it seems that their dynamics can impact the earth's climate: it is famous the example of the Maunder minimum, from 1645 to 1715, marked by an extremely weak solar activity and a very cold climate, to the point of being called "small ice Age ". About the sunspot number of this cycle, the image below (source NASA-ARC), shows the trend of the updated monthly number of Wolf until October 2016. Is quite clear the anomaly of 24 compared to the previous cycle.

