

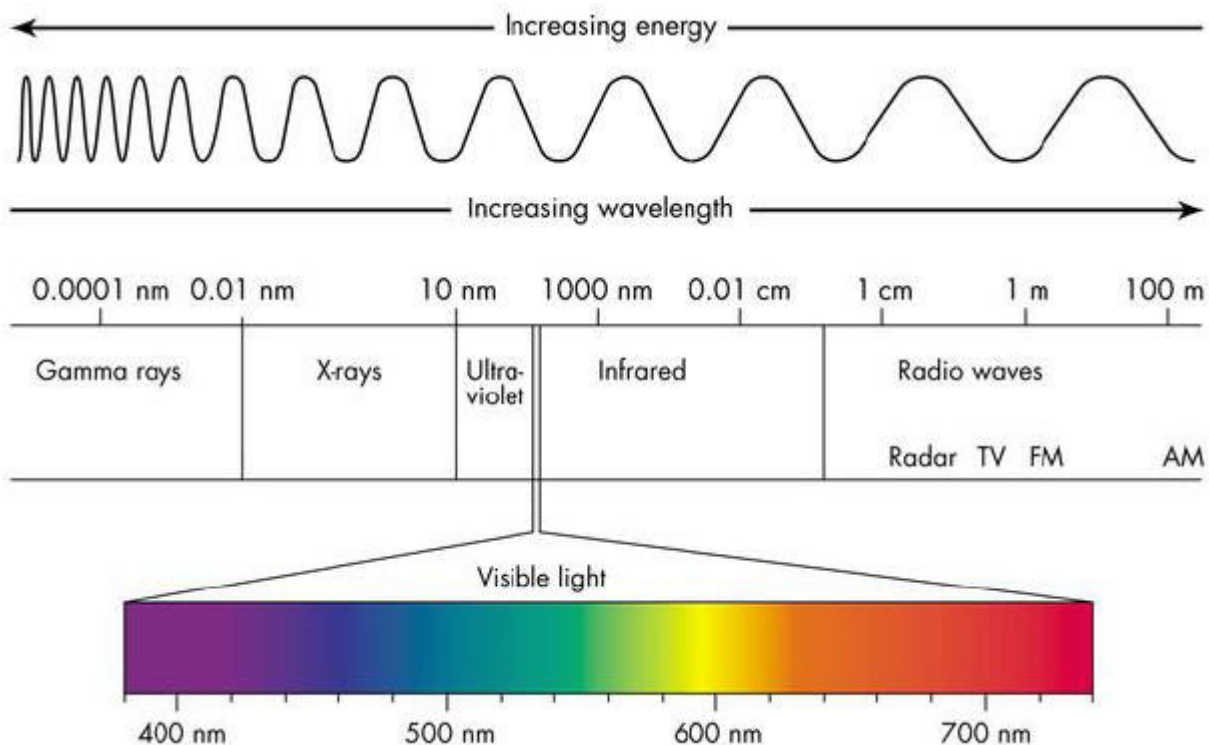
Il sole, la nostra stella

Di Fulvio Mete

La Luce

Il sole ha guidato ed è stato un punto di riferimento di innumerevoli generazioni dall'alba della vita su questo pianeta, la sua temporanea mancanza nelle eclissi è stata fonte di sgomento e terrore: e tutto ciò perché esso è una sorgente inestinguibile di luce e calore, ma cos'è la luce?

Il termine luce (dal latino lux) si riferisce alla porzione dello spettro elettromagnetico visibile dall'occhio umano, approssimativamente compresa tra 400 e 700 nanometri di lunghezza d'onda. Questo intervallo coincide con il centro della regione spettrale della luce emessa dal Sole che arriva al suolo attraverso l'atmosfera. Tuttavia la gamma di radiazione elettromagnetica che comunque possiamo definire "luce" e che è presente nell'universo che conosciamo è molto più vasta, e può andare da frequenze molto piccole, come quelle dei raggi gamma (1/decimilionesimo di mm) ai 100 mt delle onde radio.



La luce è formata da particelle chiamate fotoni, particelle elementari di massa nulla che viaggiano nel vuoto a 300.000 kmsec .Ogni fotone ha una lunghezza d'onda caratteristica, una frequenza ed una data energia , Sulla luce sono state formulate due teorie principali:

La Teoria corpuscolare, da prima formulata da Isaac Newton nel XVII secolo, che considerava la luce come composta da piccole particelle di materia emesse in tutte le direzioni e quindi quelli che oggi chiamiamo fotoni come corpuscoli.Gli studi di Einstein sull'effetto fotoelettrico e di A. Compton nel 1921, confermarono poi che nell'interazione con gli elettroni i fotoni si comportano come singole particelle, in quanto solo un singolo fotone interagisce con un elettrone, diedero valore alla teoria.

Nella seconda, la Teoria ondulatoria formulata per primo da Christian Huygens nel 1678 ma pubblicata solo nel 1690 nel *Traité de la Lumière*, la luce veniva vista come un'onda che si propaga (in maniera del tutto simile alle onde del mare o a quelle acustiche) in un mezzo, chiamato etere,

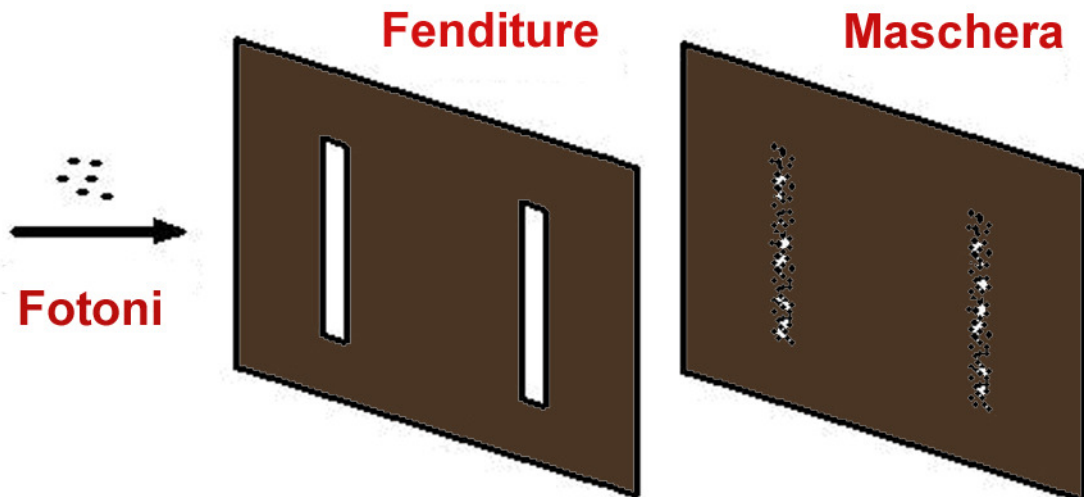
che si supponeva pervadesse tutto l'universo e fosse formato da microscopiche particelle elastiche. L'idea di Huygens, seppure con altri approcci scientifici e su basi ben diverse, fu poi confermata da Maxwell e da Thomas Young, col suo celebre esperimento della doppia fenditura nel 1801.

Con gli studi di Planck (quantizzazione dell'energia in pacchetti discreti di elementi chiamati poi fotoni), Maxwell, Heisenberg Schrodinger e l'avvento della meccanica quantistica si è postulato per le onde elettromagnetiche, e quindi anche per i fotoni, in accordo con gli esperimenti, l'esistenza di un "quanto" di energia fondamentale indivisibile, che ha quindi proprietà sia ondulatorie che particellari (fenomeno noto come dualismo onda-particella). Il dualismo onda-particella consiste nel fatto che un oggetto quantistico si può comportare proprio come un'onda le cui proprietà svaniscono nel momento in cui tentiamo di determinare la sua posizione, ovvero cerchiamo di effettuare una misura su di esso. Si determina quindi una sovrapposizione di stati che cessa solo quando si opera una misura (celebre il paradosso del gatto di Schrodinger, col gatto contemporaneamente nel doppio stato vivo e morto per effetto della possibile decadenza di un atomo cui è collegato un dispositivo con veleno, sinchè non si apre la gabbia)

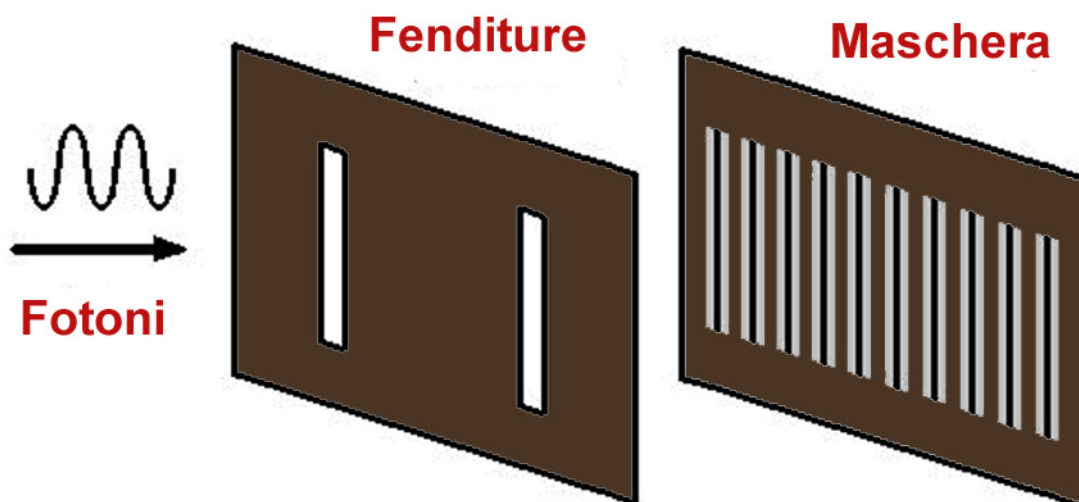
Questa straordinaria proprietà della luce è stata confermata da numerosi esperimenti (quale quello di Thomas Young sulla doppia fenditura)

l'esperimento delle due fenditure, fattibile anche a casa con un lamierino di alluminio sul quale sono incise due sottili fenditure molto ravvicinate tra loro ci mostra uno dei fondamenti della fisica moderna; il dualismo onda-particella.

Se fossimo nell'ambito della fisica classica infatti colpendo la lastrina con le due fenditure con pochi singoli fotoni, li dovremmo vedere raggrupparsi in una lastra posteriore in corrispondenza delle due aperture: l'aspetto corpuscolare delle particelle, siano fotoni, elettroni o quant'altro, sarebbe confermato



Invece nella realtà vedremo formarsi nella lastra bersaglio un alternarsi di frange chiare e scure con un massimo centrale, una figura dovuta all'interferenza delle particelle tra di loro, e contemporaneamente non sappiamo quale particella abbia attraversato una fenditura e quale l'altra!



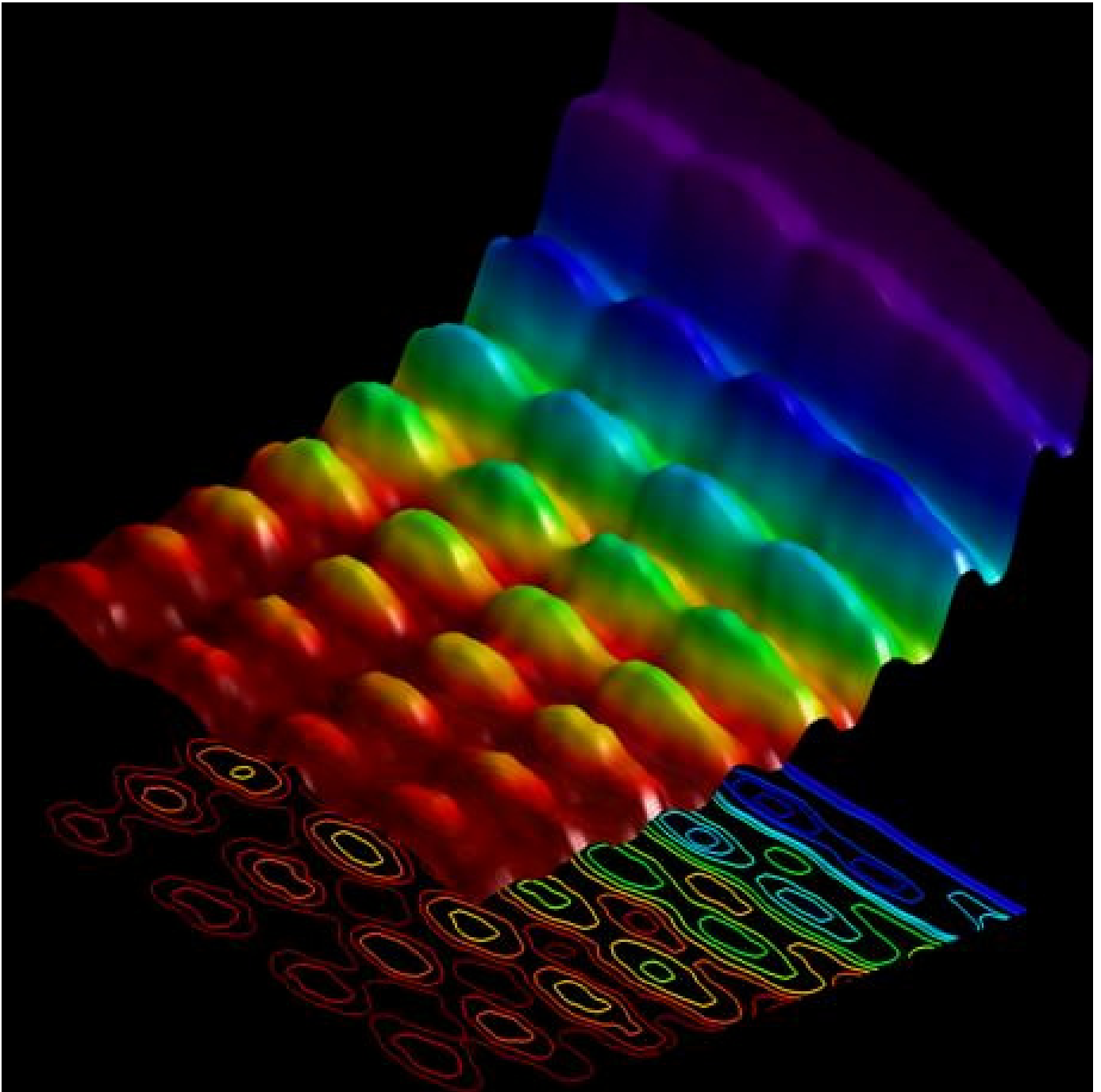
È il trionfo dell'indeterminazione della meccanica quantistica e del dualismo onda-particella che la contraddistingue.

L'esperimento di Young confermò in modo evidente la natura ondulatoria della luce. A distanza di anni, con la strumentazione ora disponibile potremmo ripetere l'esperimento di Young e far passare attraverso le fenditure singoli fotoni, ma, colpo di scena, li vedremmo raggrupparsi prima in modo casuale e poi, aumentando il loro numero esattamente nello stesso modo del flusso continuo dianzi descritto, con una serie di frange, nell'ambito del processo della sovrapposizione di stati (dove ogni stato è dato dalla probabilità che il fotone passi in una fenditura o nell'altra) proprio della meccanica quantistica. Tuttavia, se operassimo una misura sui fotoni che passano attraverso le fenditure la sovrapposizione di stati cesserebbe ed il loro raggruppamento somiglierebbe a quello della figura iniziale, secondo il principio deterministico della meccanica classica. La sovrapposizione di stati si esprime in una funzione d'onda che collassa nel momento in cui si opera una misura. È il caso famoso del gatto di Schrodinger che non è né vivo né morto sino al momento in cui si "apre la scatola", ovvero si opera una misura.

Il semplice esperimento di Young ora descritto si è con il passare degli anni e delle tecniche, sempre più evoluto, al punto che oggi, con interferometri particolarmente sofisticati, è stato possibile dimostrare l'ipotesi ondulatoria e, per converso, il dualismo onda-particella anche di particelle molto grandi ed addirittura di molecole: notevole l'esperimento effettuato nel 1999 all'Università di Vienna col quale si è potuto dimostrare il dualismo onda - particella addirittura con molecole di fullerene, ciascuna composta da 60 atomi di carbonio! È la conferma che la celebre

affermazione di Einstein "Dio non gioca a dadi" era errata, perlomeno per l'infinitamente piccolo.

Un recentissimo esperimento, ottenuto osservando con un microscopio elettronico l'interazione tra radiazione elettromagnetica in un nanocavo e un fascio di elettroni, condotto presso il Politecnico di Losanna da Fabrizio Carbone e colleghi e pubblicato sulla rivista "Nature Communications" sembra dimostrare per la prima volta che le due nature della luce, quella corpuscolare e quella ondulatoria, possono essere rilevate contemporaneamente nello stesso sistema fisico. Una delle immagini al microscopio elettronico della luce confinata su un nanocavo mostra sia il fenomeno dell'interferenza, tipico delle onde, sia la quantizzazione dell'energia, che documenta la natura corpuscolare della luce stessa. Come è stato possibile? Quando pizzichiamo la corda di una chitarra, l'impulso si propaga lungo la corda, rimbalza agli estremi e si riflette avanti e indietro finché è l'intera corda che vibra: l'onda non si muove più nello spazio e oscilla soltanto nel tempo. È quella che si chiama un'onda stazionaria. Il team elvetico ha creato un'onda stazionaria facendo riflettere un fascio di luce laser all'interno di un nanocavo, una sorta di filo di materiale metallico con uno spessore di appena 80 milionesimi di millimetro. In questo modo la luce, interferendo con se stessa, dà la prova più genuina della sua natura ondulatoria. I ricercatori hanno poi diretto un flusso di elettroni molto vicino al nanocavo. Gli elettroni e i fotoni amano interagire tra loro, e lo fanno scambiandosi dei "pacchetti" di energia, tutti uguali. Questi pacchetti, che i fisici chiamano quanti, sono il segno inequivocabile della natura corpuscolare della luce. Con un potentissimo microscopio elettronico, Carbone e colleghi hanno osservato e fotografato questi pacchetti (vedi immagine che segue). Questo è il punto più sottile da capire: i quanti di energia sono prodotti da un'onda stazionaria, quindi osservare l'onda stazionaria e anche i quanti significa sperimentare contemporaneamente le due nature della luce.



Il principio di indeterminazione di Heisenberg afferma che è impossibile conoscere simultaneamente coppie di parametri per una data particella, ed esso è la conferma della sovrapposizione di stati di cui si parla. Ad esempio, se conosciamo con una precisione elevata la posizione di una particella, la sua velocità sarà nota con una precisione minima,

e viceversa. È una sorta di limite alla conoscibilità della natura, non una affermazione della capacità di eseguire la misura.

Che cos'è allora la "realta`" del mondo per la fisica quantistica? Sfortunatamente quella che noi percepiamo come realta` si scopre essere semplicemente una serie di incidenti di percorso. Se crediamo alla fisica quantistica, il mondo è nelle mani di queste onde di probabilita`. Ogni tanto una di queste onde "collassa", e allora, e soltanto allora, succede qualcosa (le quantita` fisiche assumono dei valori certi e osservabili). La sequenza di quei "qualcosa" costituisce la realta` che percepiamo noi, ma come emerga il mondo della fisica classica e delle certezze del macrocosmo da un mondo di incertezze del microcosmo è ancora da definire.

La fisica quantistica concede questo privilegio: i sistemi classici (come gli strumenti di misurazione o gli esseri umani, oggetti che hanno una posizione, una forma e un volume ben definiti) sono capaci di far collassare la funzione d'onda di sistemi quantistici (che sono invece pure onde di probabilita`) e pertanto di misurarli. come fa la natura a sapere quale dei due sistemi è quello che misura e quale è quello da misurare, in maniera tale che possa far collassare quello da misurare e non quello che misura?

**Perche', quando si misura un elettrone od un fotone, collassa l'elettrone ed il fotone e non collassa il misuratore?
Alcuni i fisici rispondono che un sistema per essere classico deve essere "grande", in quanto l'indeterminatezza è tanto maggiore quanto piu` ci si avvicina alle dimensioni della costante di Planck.**

Ma questo significa semplicemente che gli oggetti "grandi" hanno un'immunita` dalle leggi quantistiche che è basata soltanto sulla loro dimensione. Roger Penrose ha proposto che sia la gravita` a concedere quella immunita` speciale. Gli oggetti "grandi" deformano lo spazio-tempo e cio` in qualche modo causa il collasso spontaneo del sistema in una possibilita` ben precisa. Ecco perche' i sistemi "grandi" hanno una posizione e una forma ben definita. Analogamente, quando il mio campo gravitazionale entra in contatto con quello di un sistema "piccolo" (che si comporta come un sistema quantistico), lo fa diventare parte di un sistema "grande" e

pertanto di un sistema classico e pertanto lo posso misurare. Tuttavia questa ipotesi non è ancora pacifica, ed il limite tra quantistica e fisica classica è ancora da definire, se esiste.

Ma esistono altre molteplici stranezze nella fisica quantistica: se un laser emette due fotoni, in direzioni diverse e nello stesso istante, se applichiamo una misura ad uno di essi, anche per l'altro collassa la funzione d'onda, come se si parlassero a distanza, qualsiasi essa sia: i fotoni sono "entangled" ossia intrecciati tra loro. Questo aspetto è quello che rese Einstein più critico verso la quantistica, immaginando che tale situazione violasse il limite fisico della velocità della luce ed il principio di causalità. Tuttavia altri esperimenti effettuati hanno dato ragione a questo aspetto singolare della fisica quantistica.

Ma questo è un mondo tutto da esplorare per i fisici e per noi comuni mortali, alcuni hanno proposto che la raccolta di elementi fisici quantistici provochi il collasso del fronte d'onda e cambi la realtà, ma quante molecole occorre raccogliere, e soprattutto, se questa che vediamo è una tra infinite realtà, questo pone un problema filosofico non secondario.

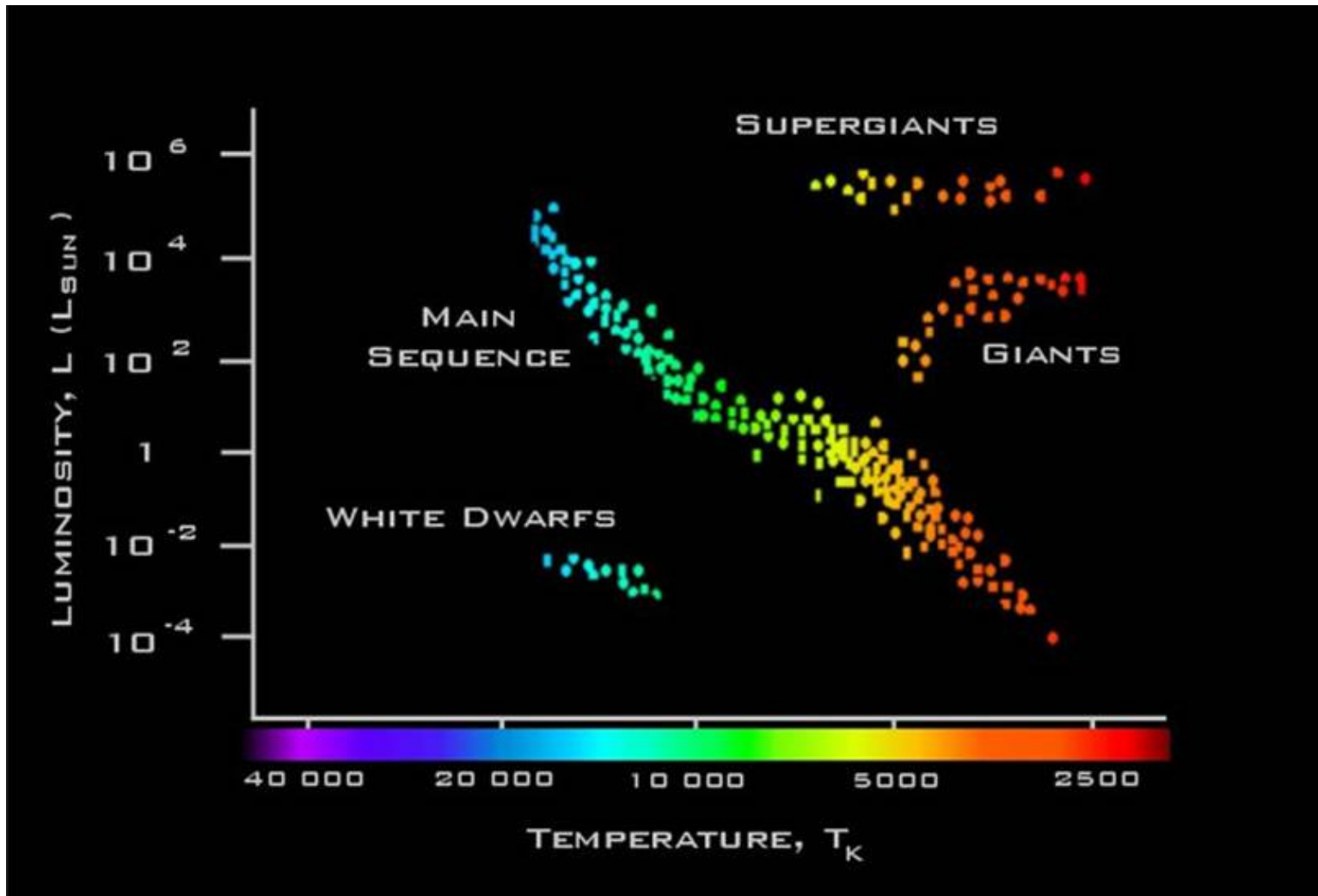
Ma perché accenno alla fisica quantistica prima di parlare del sole? Perché anche la fusione nucleare è un evento per certi versi probabilistico, nel senso che esiste una certa probabilità che gli atomi di idrogeno si fondano tra loro anche in presenza di temperature ed energie non sufficientemente elevate e, dato l'enorme numero di atomi di idrogeno del sole, questa probabilità si verifica sempre (effetto tunneling della meccanica quantistica). Nel mondo quantistico, infatti, una particella è associata, come si è detto, ad una funzione d'onda che prevede una probabilità, piccola ma concreta, di attraversare una barriera di potenziale più elevata dell'energia posseduta dalla particella stessa.

Ma ora parliamo del sole:

Il Sole

La luce visibile che comunemente consideriamo è quella che proviene dal sole, come si è visto, dalla stella a noi più vicina , ma che cos'è il sole?

Il Sole è una stella di dimensioni medio-piccole, di raggio pari a circa 700.000 Km , a 149.600.000 Km dalla terra, costituita principalmente da Idrogeno (circa il 74% della sua massa, il 92,1% del suo volume) ed Elio (circa il 24-25% della massa, il 7,8% del volume), cui si aggiungono altri elementi più pesanti presenti in piccole quantità. È classificata come una nana gialla di tipo spettrale G2 V: G2 indica che la stella ha una temperatura superficiale di 5 777 K (5 504 °C), caratteristica che le conferisce un colore bianco estremamente intenso e cromaticamente freddo, che però spesso può apparire giallognolo, a causa dello scattering dell'atmosfera terrestre, la V (5 in numeri romani) indica che il Sole, come la maggior parte delle stelle, è nella sequenza principale, ovvero in una lunga fase di equilibrio stabile in cui l'astro fonde, nel proprio nucleo, l'idrogeno in elio.



Nel diagramma HR, che lega la magnitudine assoluta alla temperatura ed alla classe spettrale il sole fa parte del gruppo di stelle gialle al centro, in corrispondenza della temperatura di 5500 K

Il processo di fusione nucleare genera ogni secondo una grande quantità di energia (equivalente a $3,83 \times 10^{26}$ J), circa la stessa dell'impatto di un corpo solido da 100 Km di

diametro, come quello che ha prodotto il Caloris Planitia di Mercurio(1550Km),o 10.000.000Megatons tale energia è emessa nello spazio sotto forma di radiazioni elettromagnetiche, flusso di particelle (vento solare) e neutrini. La radiazione solare, emessa fondamentalmente come luce visibile ed infrarossi, consente la vita sulla Terra fornendo l'energia necessaria ad attivare i principali meccanismi che ne stanno alla base; inoltre l'insolazione della superficie terrestre regola il clima e la maggior parte dei fenomeni meteorologici.

La fusione nucleare inoltre fa sì che la stella sia in uno stato di equilibrio, sia idrostatico, ossia non si espande (a causa della pressione di radiazione delle reazioni termonucleari) né si contrae (per via della forza di gravità, cui sarebbe naturalmente soggetta), sia termico. Una stella di classe G2 come il Sole impiega, considerando la massa, circa 10 miliardi (10^{10}) di anni per esaurire completamente l'idrogeno nel suo nucleo.

Il Sole si trova a circa metà della propria sequenza principale. Al termine di questo periodo di stabilità, tra circa 5 miliardi di anni, il Sole entrerà in una fase di forte instabilità dando vita ad una cd."gigante rossa": nel momento in cui l'idrogeno del nucleo sarà totalmente convertito in elio, gli strati immediatamente superiori subiranno infatti un collasso dovuto alla scomparsa della pressione di radiazione delle reazioni termonucleari. Il collasso determinerà un incremento termico fino al raggiungimento di temperature tali da innescare la fusione dell'idrogeno negli strati superiori, che provocheranno l'espansione della stella fino ad oltre l'orbita di Mercurio; l'espansione causerà un raffreddamento del gas (fino a 3500 K), motivo per il quale la stella avrà una colorazione fotosferica tipicamente gialla intensa. Quando anche l'idrogeno dello strato superiore al nucleo sarà totalmente convertito in elio (entro poche decine di milioni di anni) si avrà un nuovo collasso, che determinerà un aumento della temperatura del nucleo di elio fino a valori di 10^8 K; a questa temperatura si innescherà repentinamente la fusione dell'elio. A causa delle elevatissime temperature del nucleo, la fusione dell'elio si esaurirà in breve tempo (qualche decina di milioni di anni) e i prodotti di fusione, non impiegabili in nuovi cicli termonucleari a causa della piccola massa della

stella, si accumuleranno inerti nel nucleo;frattanto, venuta a mancare nuovamente la pressione di radiazione che spingeva verso l'esterno, avverrà un successivo collasso che determinerà l'innesco della fusione dell'elio nel guscio che avvolge il nucleo e dell'idrogeno nello strato ad esso immediatamente superiore. Queste nuove reazioni produrranno una quantità di energia talmente elevata da provocare una nuova espansione dell'astro, che raggiungerà così dimensioni prossime ad 1 UA (circa 100 volte quelle attuali),tanto che la sua atmosfera arriverà ad inglobare molto probabilmente Venere.Incerto è invece il destino della Terra: alcuni astronomi ritengono che anche il nostro pianeta verrà inglobato dalla stella morente; altri invece ipotizzano che il pianeta si salverà, poiché la perdita di massa da parte della nostra stella farebbe allargare la sua orbita, che slitterebbe di conseguenza sino a quasi 1,7 UA. Il nostro pianeta sarà però inabitabile: gli oceani saranno evaporati a causa del forte calore e gran parte dell'atmosfera verrà dispersa nello spazio dall'intensa energia termica.Entro 7,8 miliardi di anni, esaurito ogni processo termonucleare, il Sole rilascerà i suoi strati più esterni, che verranno spazzati via sotto forma di "supervento" creando una nebulosa planetaria; le parti più interne collasseranno e daranno origine ad una nana bianca (circa delle dimensioni della Terra), che lentamente si raffredderà sino a diventare, nel corso di centinaia di miliardi di anni, una nana nera

La struttura del sole

La struttura del sole è mostrata nell'immagine che segue

Internal structure:

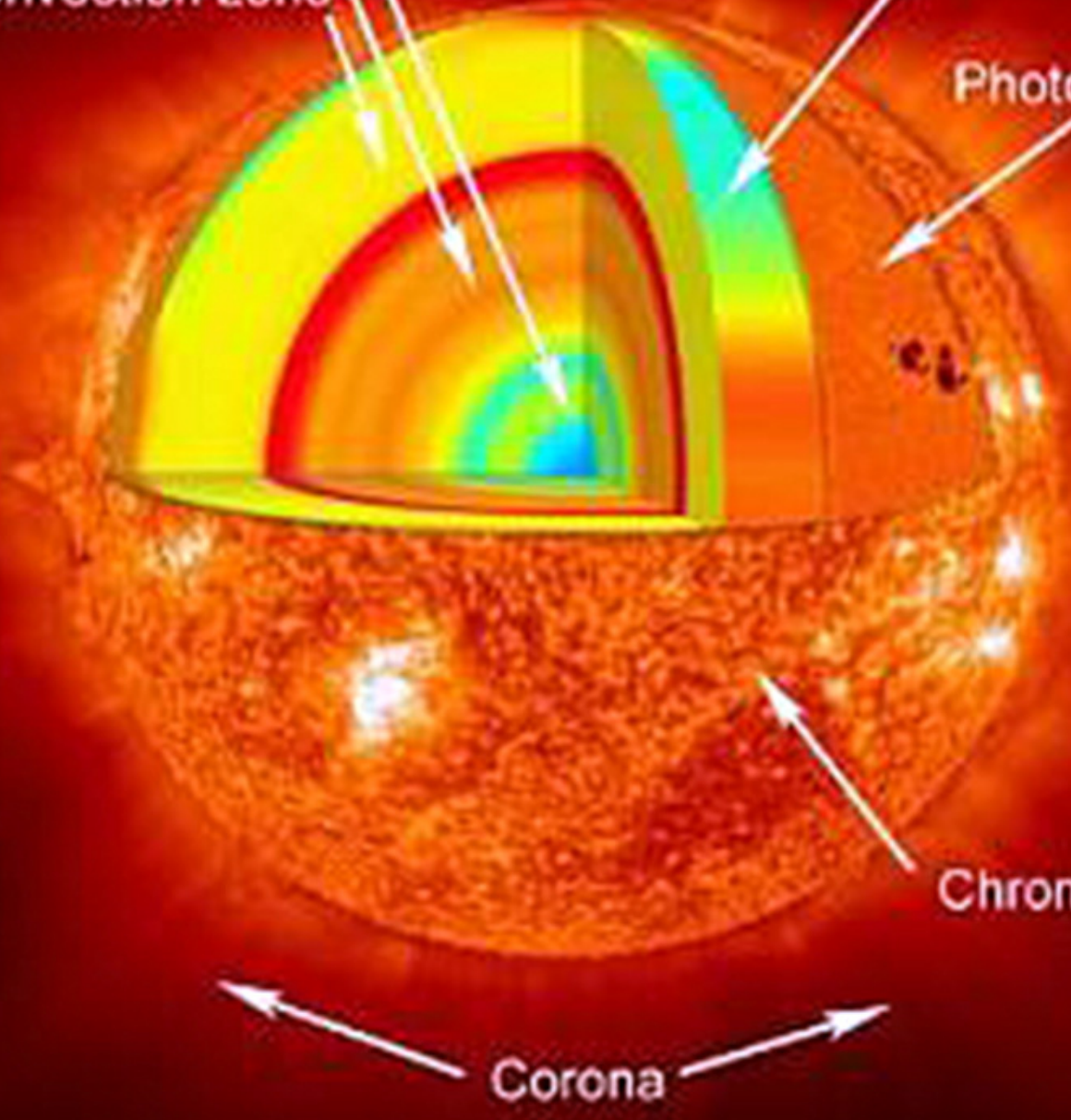
- inner core
- radiative zone
- convection zone

Subsurface flows

Photosphere

Chromosphere

Corona



Il nucleo solare rappresenta in volume il 10% della stella, in massa oltre il 40%. È qui che avvengono le reazioni di fusione nucleare, fonte principe dell'energia solare. Con la fusione nucleare 4 nuclei d'idrogeno, in condizioni di temperatura e pressione estremamente alte si convertono in un nucleo di Elio ed alcune particelle minori (tra le quali i neutrini), il cui peso risulta inferiore a quello dei 4 nuclei d'idrogeno iniziali; la differenza è convertita in energia secondo la famosa equazione $E= MC^2$.

Gli astrofisici ritengono che il nucleo solare abbia dimensioni prossime a 0,2 raggi solari (140.000 Km), con una densità superiore a 150 000 kg/m³ (150 volte quella dell'acqua), una temperatura che raggiunge 15 700 000 K ed una pressione di quasi 500 miliardi di atmosfere; è la combinazione di simili valori a favorire la fusione nucleare dell'idrogeno in elio. Il nucleo è l'unica regione della nostra stella in cui, attualmente avvenga la fusione nucleare. Tali reazioni liberano energia sotto forma di radiazione γ che, una volta emessa dal nucleo, viene assorbita e riemessa dalla materia degli strati superiori, contribuendo a mantenere alta la temperatura; nell'attraversare gli strati della stella la radiazione elettromagnetica perde energia assumendo lunghezze d'onda sempre maggiori, passando dalla banda γ alla banda X e ultravioletta, per poi diffondersi nello spazio come luce visibile. Un altro prodotto delle reazioni nucleari sono i neutrini, particelle che raramente interagiscono con la materia e che dunque attraversano liberamente lo spazio.

la zona radiativa è situata all'esterno del nucleo, si estende da circa 0,2 sino a 0,7 raggi solari (490.000 Km); essa assorbe l'energia prodotta dal nucleo e la trasmette per irraggiamento (dove il nome) agli strati superiori. Pressione e temperatura sono ancora abbastanza elevate da permettere il trasferimento dell'energia allo strato successivo.

La zona di transizione tra la porzione radiativa e quella convettiva prende il nome di tachocline e si estende, secondo recenti studi eliosismologici, a partire da 0,7 raggi solari. Gli astrofisici ritengono che tali dimensioni svolgano un ruolo determinante nella genesì del campo magnetico solare, in quanto interverrebbero nella dinamo solare (meccanismo grazie al quale si origina il campo magnetico della nostra stella) rinforzando i deboli campi poloidali per crearne uno più intenso di forma toroidale.

La zona convettiva si trova oltre gli 0.7-0.8 raggi solari sino alla fotosfera. L'area è caratterizzata da temperature e densità inferiori a quelle degli strati sottostanti; di conseguenza, energia e calore non possono essere trasferiti per irraggiamento, ma attraverso moti convettivi. La materia più calda e meno densa viene portata in superficie, dove cede parte della propria energia termica; una volta raffreddata, la materia risprofonda alla base della zona convettiva, dove riceve nuovamente il calore proveniente dalla zona radiativa. A differenza dello strato sottostante, dunque, nella zona convettiva la materia è in costante movimento. Questo costante e turbolento movimento sembra essere una delle cause fondamentali della dinamo solare e dell'origine dei granuli.

Le colonne termiche della zona convettiva lasciano segni sulla fotosfera solare che prendono il nome di granuli o supergranuli solari. Il moto turbolento del plasma e delle particelle cariche della zona convettiva

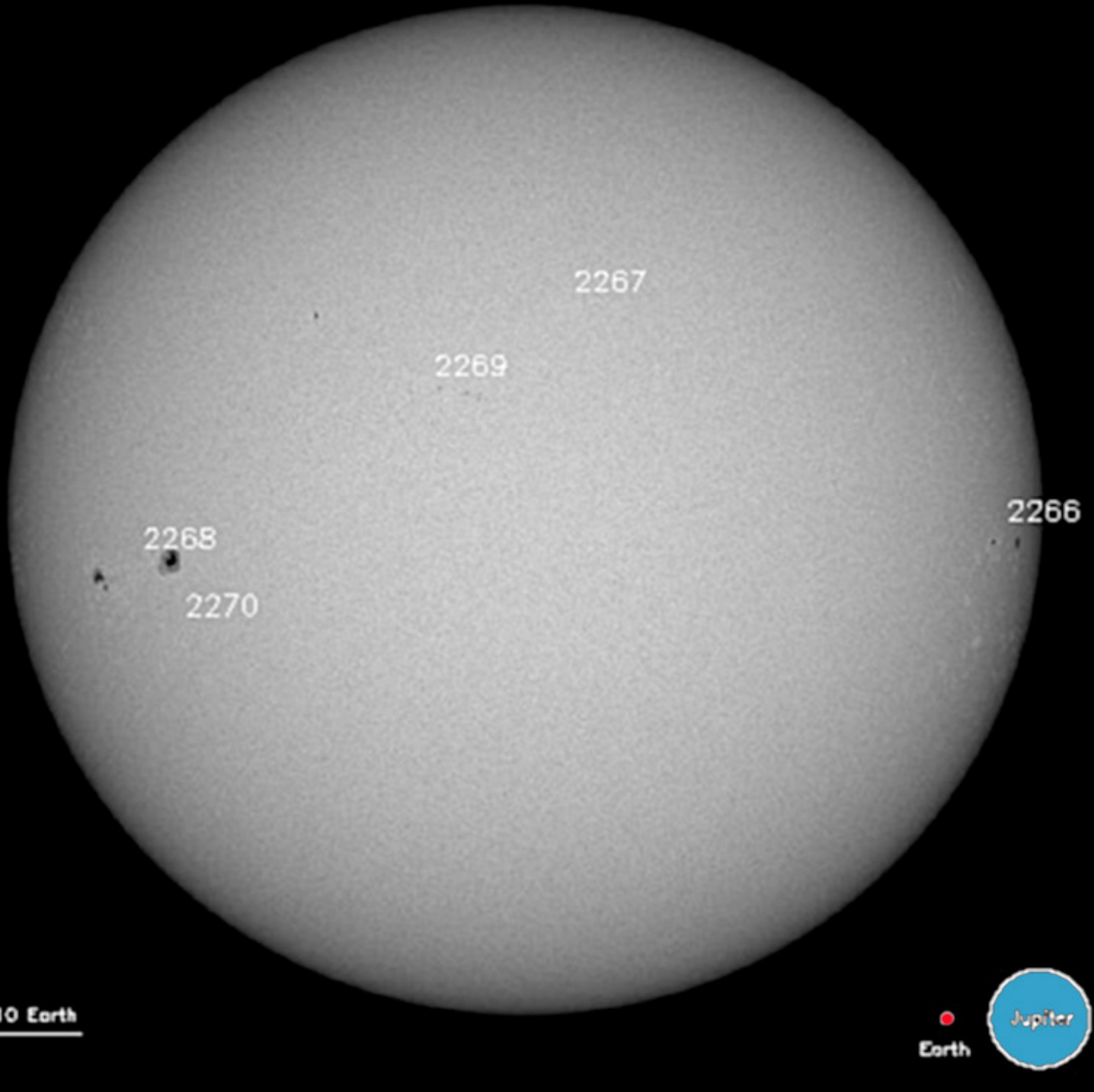
generano un potente campo magnetico, caratterizzato da **poli appaiati** (nord e sud) disposti lungo tutta la superficie solare. Il campo inverte il proprio verso ogni undici anni, in corrispondenza del **massimo del ciclo solare**. Il campo magnetico solare è all'origine di diversi fenomeni che prendono complessivamente il nome di "**attività solare**"; tra essi si annoverano le **macchie fotosferiche**, i **flare** (o **brillamenti**) e le variazioni nell'intensità del **vento solare**, che diffonde **materia** attraverso il sistema solare.

La fotosfera è lo strato superficiale del Sole, spesso **circa 400 Km**, al di sotto del quale la stella diviene opaca alla luce visibile; si tratta dunque del **primo strato visibile**, dal quale l'energia proveniente dall'interno è libera di propagarsi nello spazio. È sede di fenomeni come le **macchie solari**. Lo spettro fotosferico presenta caratteristiche relativamente simili a quelle dello spettro continuo di un corpo nero riscaldato **alla temperatura di 5777 K**, e appare intervallato dalle linee di assorbimento della tenue atmosfera stellare. All'osservazione diretta la fotosfera presenta un aspetto granuloso, dovuto alla presenza della granulazione. Una breve parentesi al riguardo: cosa sono i Kelvin.

La temperatura viene comunemente misurata con la scala Kelvin (K), detta "scala assoluta", dove $0^\circ = -273$ C. Quindi $K = ^\circ\text{C} + 273$.

Ma torniamo alle macchie solari: eccone alcune rapportate alle dimensioni della Terra e di Giove (fonte SOHO – SDO).

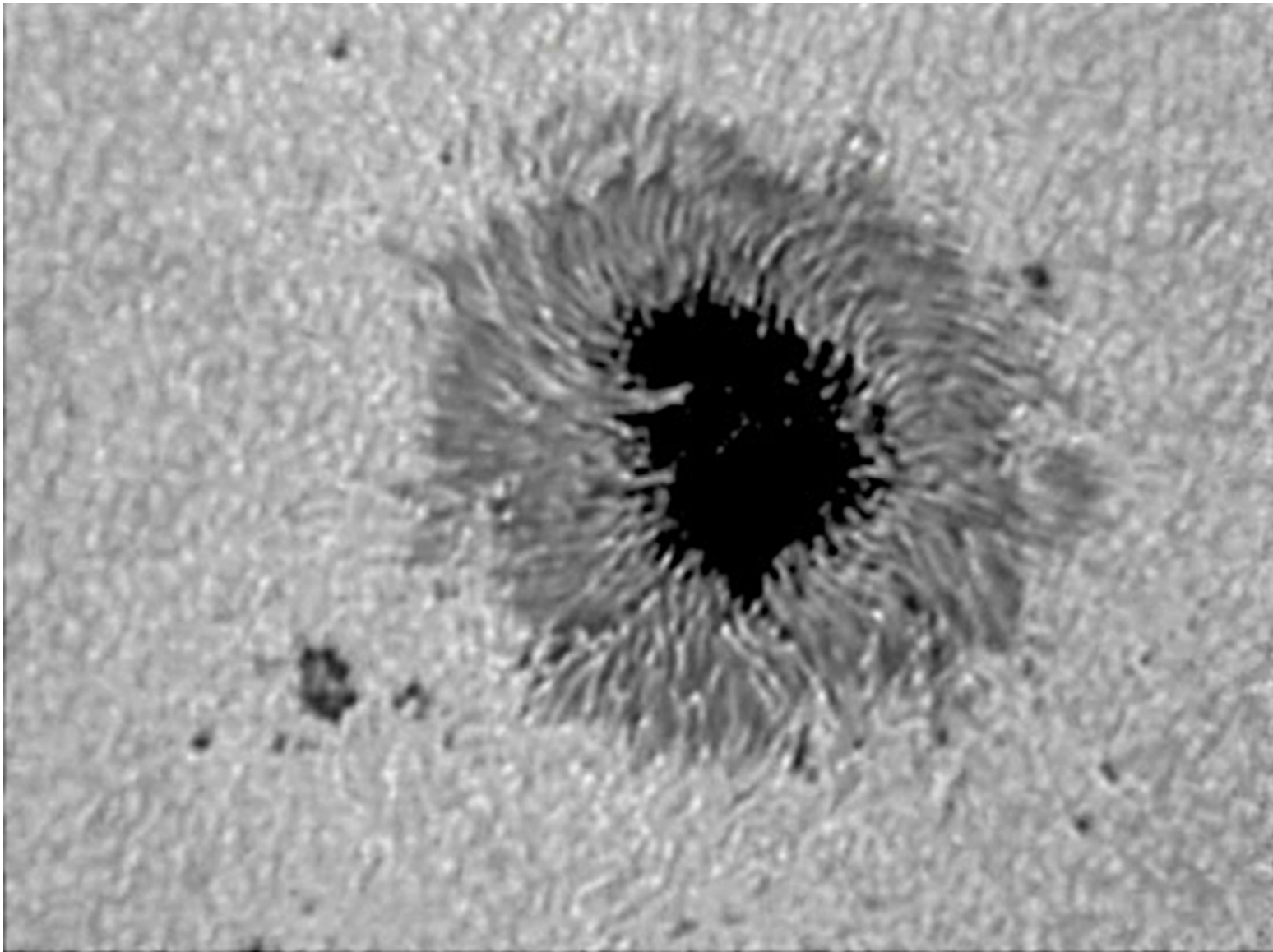
SDO HMI 24-Jan-2015

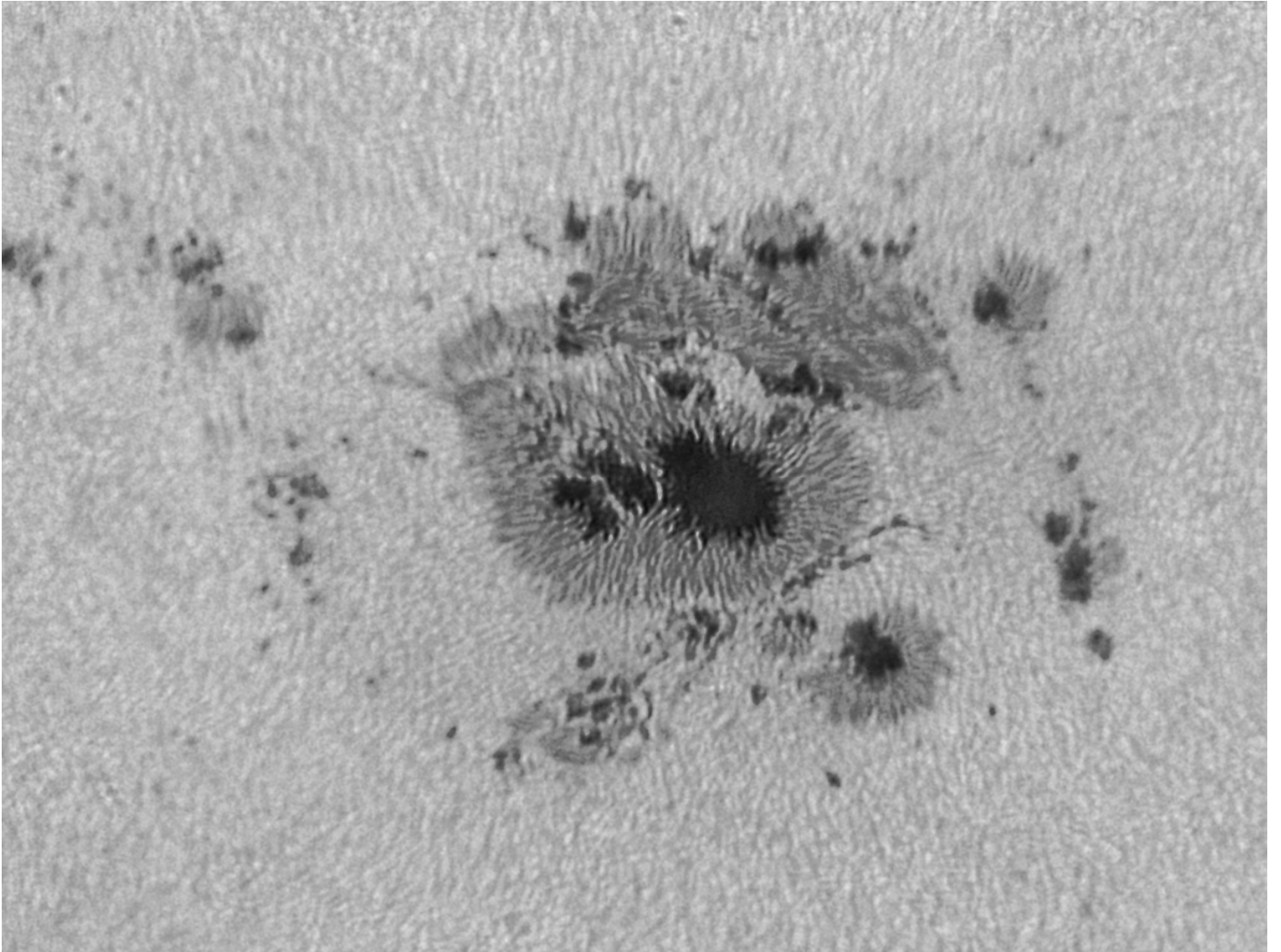


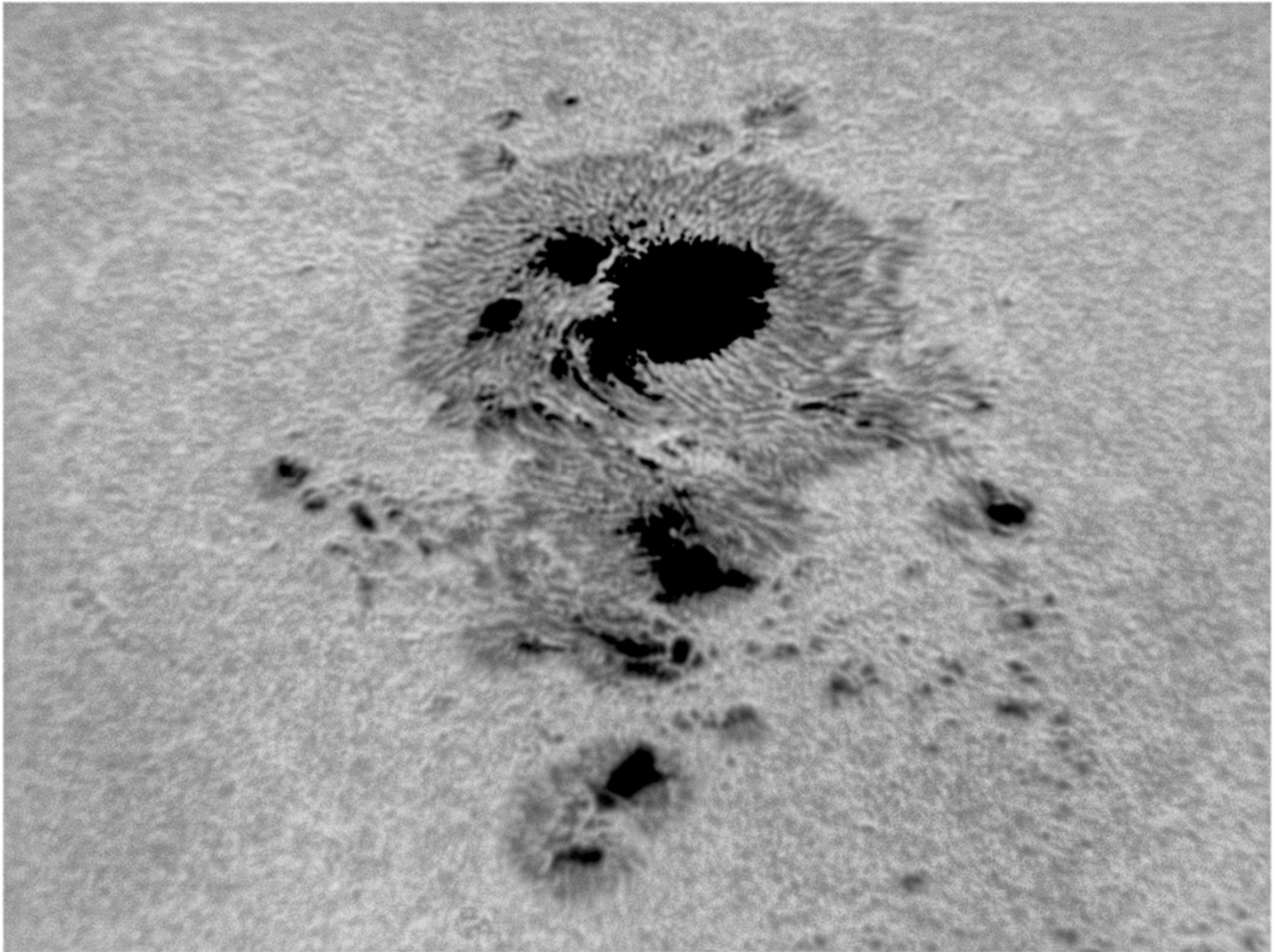
Sun image SOHO SDO

Quelle che seguono sono foto dell'autore di macchie solari ad alta risoluzione: notare la granulazione ed i filamenti della zona penumbrale , di circa 1 arcsec.

Un granulo fotosferico (una di quelle colonne di plasma cui si è accennato) ha mediamente un diametro di 1000-1500 Km , un' estensione angolare di circa 2 arcsec e dura da 8 a 20 minuti: esso è formato da una zona periferica scura, che la parte esterna della colonna di plasma discendente ed una centrale chiara, ascendente, più calda.



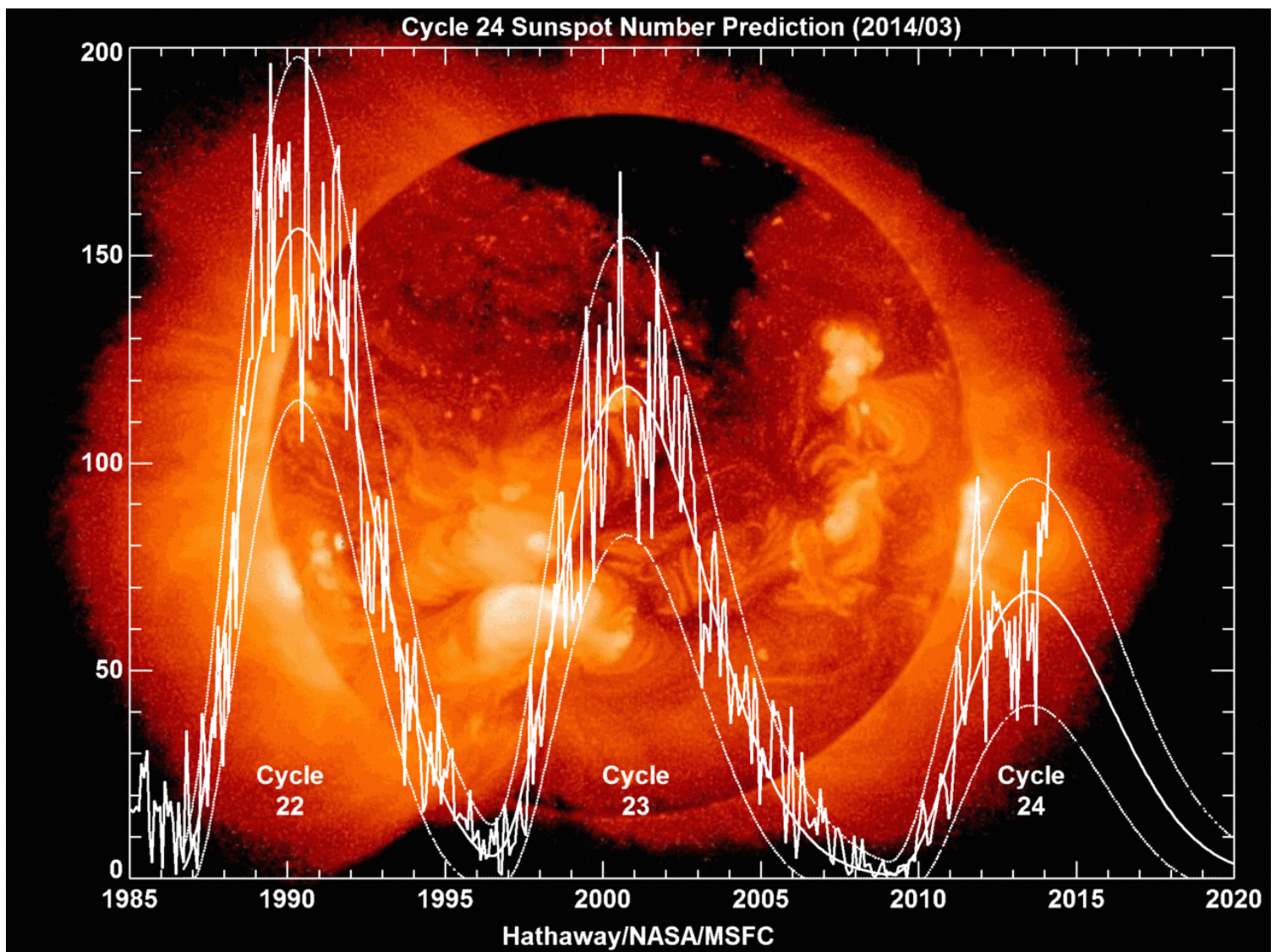




Le macchie solari sono zone del sole distinte dal resto della superficie fotosferica per la temperatura inferiore ed una forte attività magnetica. Nonostante siano molto calde (tra 3000 e 4500 K) appaiono scure per contrasto rispetto alla restante superficie solare a 5777 K. Esse normalmente appaiono in coppie aventi opposta polarità magnetica.

Loro causa è la forte attività magnetica che inibisce la convezione. (infatti nelle macchie non è in genere visibile la

granulazione). Il numero delle macchie solari cresce da un minimo ad un massimo con cadenza undecennale (cd "ciclo solare"). Nell'immagine che segue (fonte NASA) la previsione del ciclo solare dal 1985 al 2020. Come si osserva sembra che il numero di macchie (cd numero di Wolf) e l'attività solare stia man mano decrescendo negli ultimi anni.

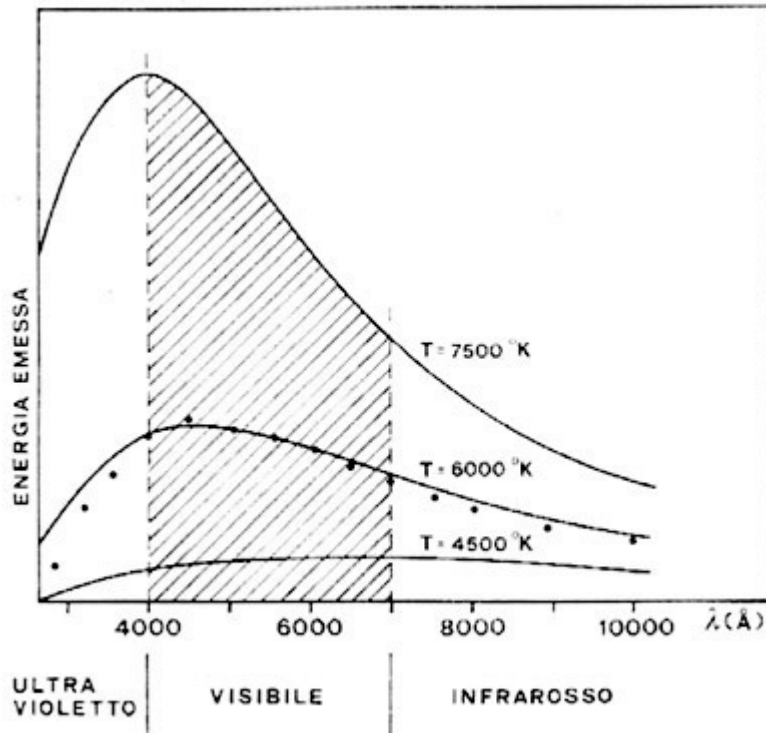


La massima energia che un oggetto può emettere è definita "radiazione di corpo nero. Il "corpo nero" è un oggetto teorico inteso come perfetto assorbitore ed emittente di radiazione in tutte le diverse lunghezze d'onda. La radiazione emessa da un corpo nero spazia in una vasta gamma spettrale, con differenti intensità a seconda della lunghezza d'onda interessata. In genere quest'ultima aumenta col diminuire della temperatura. Sulla base delle equazioni di Planck e di Law, esiste, una precisa relazione tra temperatura e lunghezza d'onda.

In base a tale relazione è possibile calcolare, per ciascuna data temperatura, in quale lunghezza d'onda ha luogo l'intensità di picco della radiazione emessa.

Se ammettiamo, ora che una stella possa comportarsi come un corpo nero, occorrerà trovare la temperatura del corpo nero per cui la distribuzione dell'energia emessa meglio si adatta a quella osservata per la stella.

In via di prima approssimazione, anche la fotosfera solare segue le leggi di emissione della radiazione tipiche di un corpo nero, in quanto lo spettro continuo della radiazione solare si sovrappone in modo abbastanza preciso ad una curva di corpo nero con picco alla temperatura di 5777 K, che è proprio quella della fotosfera .



La temperatura dell'ombra delle macchie solari oscilla, come si è detto, tra 3000 e 4500 K, mentre quella della penombra è mediamente di 5000- 5500 K. Nella tabella che segue viene indicata l'intensità della radiazione solare alle varie lunghezze d'onda dello spettro per date temperature: come si vede è massima tra 5000 e 6000 K ed alla lunghezza d'onda di circa 5300 Å.

Wavelength (angstroms)	5000K	5500K	6000K
0	0	0	0
1000	0.0	0.0	0.0
2000	0.1	0.2	0.7
3000	1.0	2.5	5.2

4000	2.7	5.3	9.0
5000	3.8	6.4	9.9
6000	4.0	6.2	9.0
7000	3.7	5.4	7.4
8000	3.2	4.5	6.0
9000	2.7	3.6	4.7
10000	2.2	2.9	3.7
11000	1.8	2.4	3.0
12000	1.5	1.9	2.4
13000	1.2	1.6	1.9
14000	1.0	1.3	1.5
15000	0.8	1.0	1.2

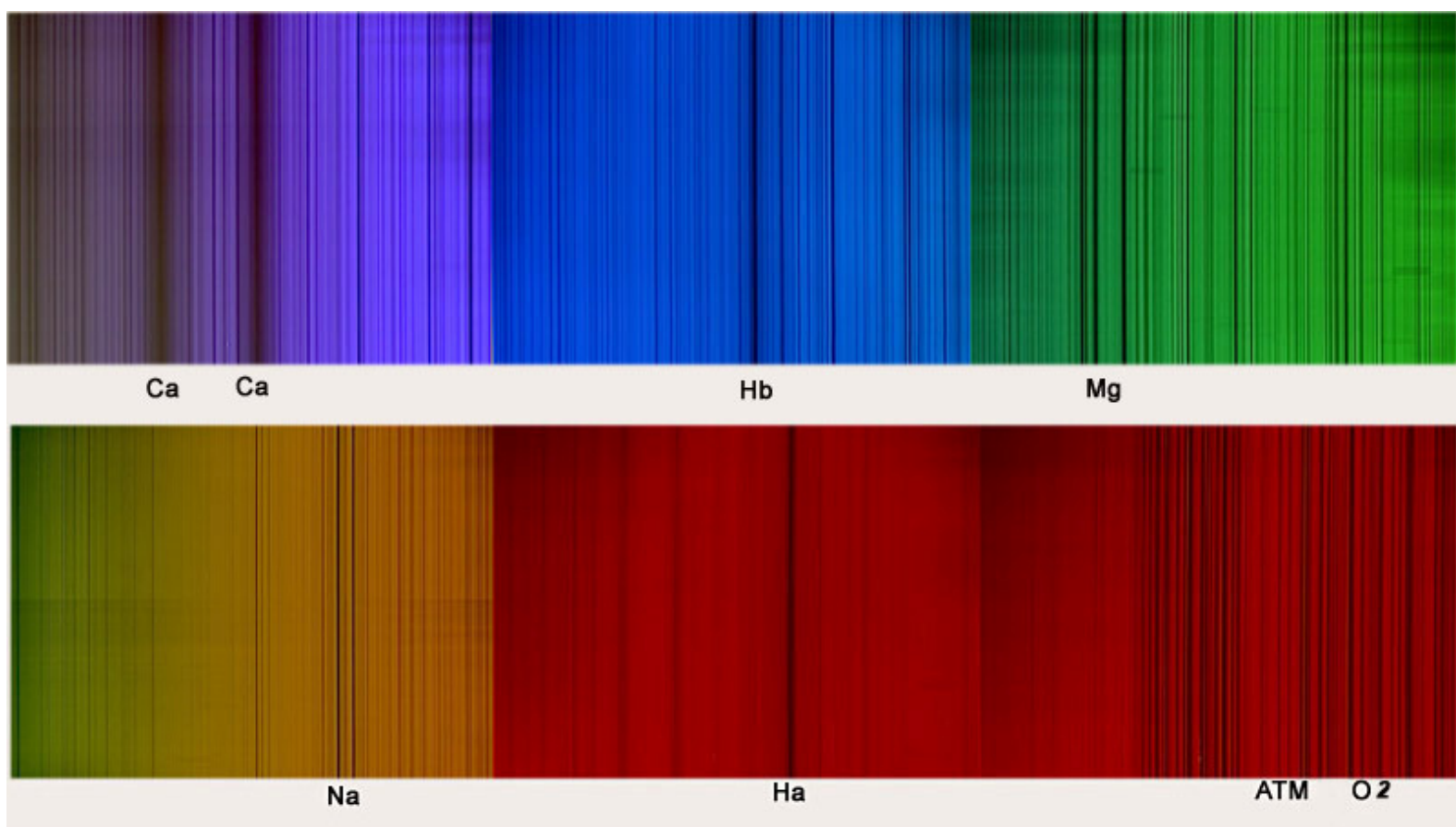
La luce visibile emessa dalla fotosfera, di colore bianco-gialla, una volta scomposta nelle lunghezze d'onda che la compongono dà luogo allo spettro solare, che chiunque di noi avrà avuto modo di vedere quando la luce passa attraverso un vetro di un certo spessore con una data angolazione, ovvero in occasione di un arcobaleno. Lo spettro solare della fotosfera è uno spettro di assorbimento, in quanto l'emissione della superficie è mediata dai gas che compongono l'atmosfera solare. In esso ogni riga corrisponde ad un dato elemento chimico, in un dato stato fisico.

Oltre tre secoli fa Isaac Newton (1642-1727) dimostrò che la luce solare poteva essere scomposta in luce di differenti colori usando un prisma. Egli scoprì anche che ad una più breve lunghezza d'onda corrispondeva un maggior angolo di rifrazione, e che lo spettro andava dal violetto al rosso. La spettroscopia, appena nata, sarebbe presto diventata il più potente mezzo di indagine dell'astronomia, quello che sarebbe stato uno straordinario mezzo di scoperta delle proprietà fisiche e chimiche delle stelle ed avrebbe poi prodotto risultati tali da far cambiare il volto dell'astrofisica e della nostra stessa esistenza con scoperte che hanno inciso profondamente sul tessuto concettuale e filosofico dell'universo che ci circonda.



Un primo studio sistematico dello spettro solare venne effettuato nei primi anni dell'ottocento da Joseph Von Fraunhofer (1787-1826) che catalogò 574 linee scure dello spettro solare, assegnando una lettera alle più evidenti (famoso le H e K del Calcio e le C e F dell'idrogeno).





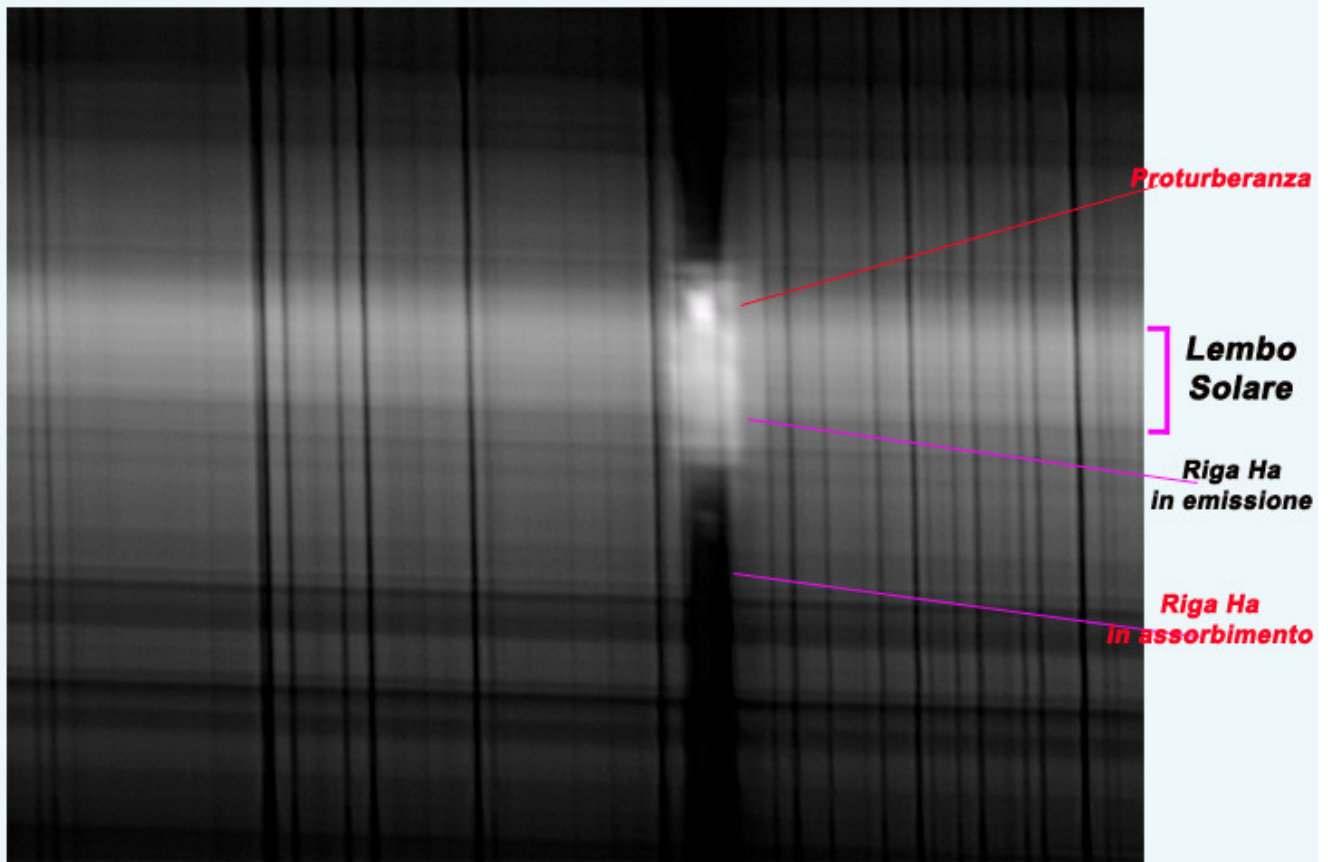
Lo spettro solare ripreso dall'autore con uno dei suoi spettroscopi

La cromosfera è una sottile fascia spessa circa 2300 km, al di sopra della fotosfera essa è chiamata (dal greco χρώμα, χρώματος - chroma, chromatos -, che significa colore) a causa dei suoi brillamenti colorati visibili subito prima e subito dopo le eclissi totali di Sole. È un sottile involucro costituito da gas rarefatto che appare di colore rossastro; in realtà, lo strato è trasparente. La colorazione rossastra è dovuta agli atomi di idrogeno, in particolare di Idrogeno ionizzato alla lunghezza d'onda di 6562.8 Å (rosso profondo) che alle più basse pressioni della cromosfera emettono radiazioni di tale colore.

La temperatura, di circa 6000 K ai confini con la fotosfera, comincia a decrescere immediatamente dopo sino a 3800 K, per poi crescere nuovamente intorno ai 6000 K sino ai 10.000 K nei suoi strati più alti, e raggiungere i 30.000 K ed oltre al confine superiore con la **zona di transizione con la corona.**

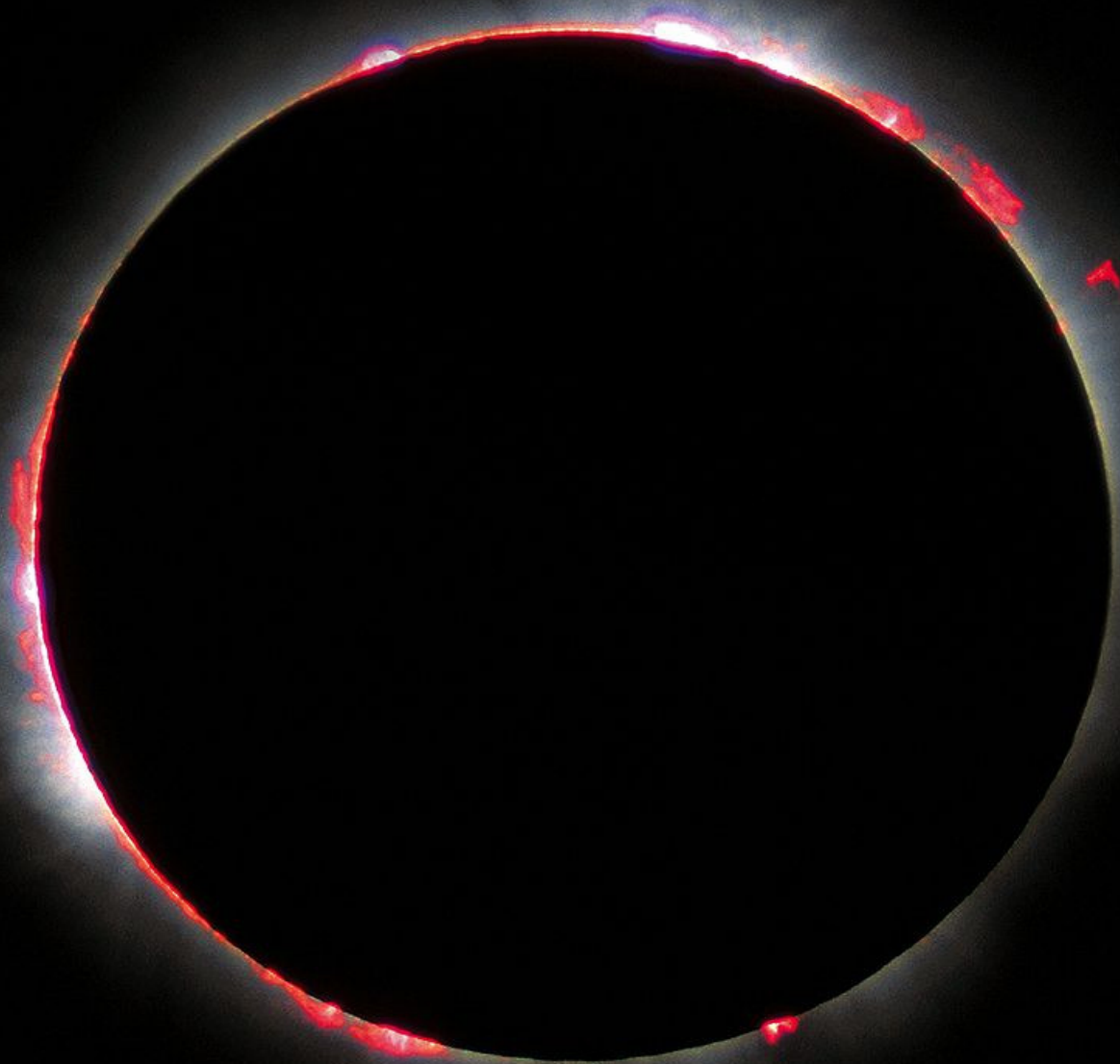
Mentre lo spettro che viene ottenuto portando la fenditura dello spettroscopio sul disco è, come si è visto nell'esempio precedente, uno spettro di assorbimento, con le righe scure, lo spettro della Cromosfera è uno spettro in emissione, ovvero le righe appaiono brillanti su un fondo scuro.

Tale caratteristica è facilmente individuabile nell'immagine sottostante, ripresa da chi scrive con uno dei suoi spettroscopi: la riga H alfa dell'Idrogeno, che appare sul disco solare in assorbimento, ossia scura, sul bordo solare, nella cromosfera osservata di taglio, appare brillante, ovvero in emissione.



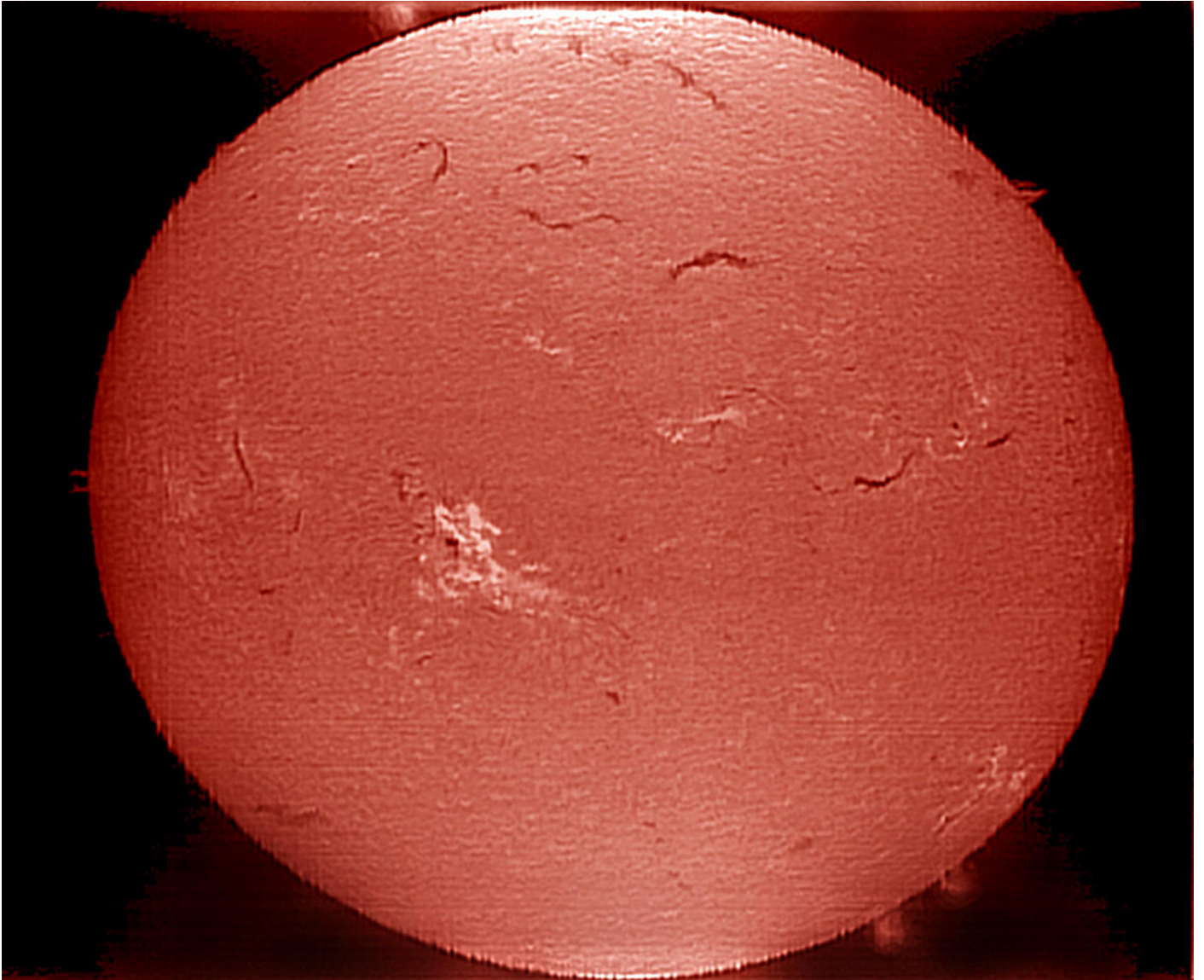
**Ripresa CCD del bordo del disco solare con POSS
(POrtable Solar SpectroheliSCOpe) in spectroheliSCOpe mode
nel punto di inversione della riga Ha da assorbimento ad emissione
con osservazione di una piccola protuberanza. Fulvio Mete, 30.09.2010**

La cromosfera non è normalmente visibile senza appositi filtri o telescopi solari, che vedremo in seguito; tuttavia essa è visibile in occasione delle eclissi solari totali, insieme alle protuberanze, come si osserva in questa bella immagine di Luc Viatour:



Luc Viatour / www.Lucnix.be

Nelle immagini riprese con filtri cromosferici centrati sulla riga H alpha dell'Idrogeno o con telescopi o spettroeliografi solari , la cromosfera mostra tutte le sue caratteristiche, come nella foto che segue, realizzata da chi scrive con uno spettroeliografo autocostruito.



|

Si notano le caratteristiche più importanti della Cromosfera:

Il Cd "Cromospheric Network" che evidenzia la supergranulazione, meglio visibile in luce Idrogeno Alfa a Calcio ionizzato, con supergranuli di diametro di circa 30.000 Km., quindi molto più grandi dei granuli fotosferici.

Le "Plages", strutture brillanti intorno alle macchie fotosferiche, dovute alla concentrazione di attività magnetica in tali zone "Active".

Le Proturberanze, getti di materia che si estendono oltre la superficie solare per effetto di forti campi magnetici.

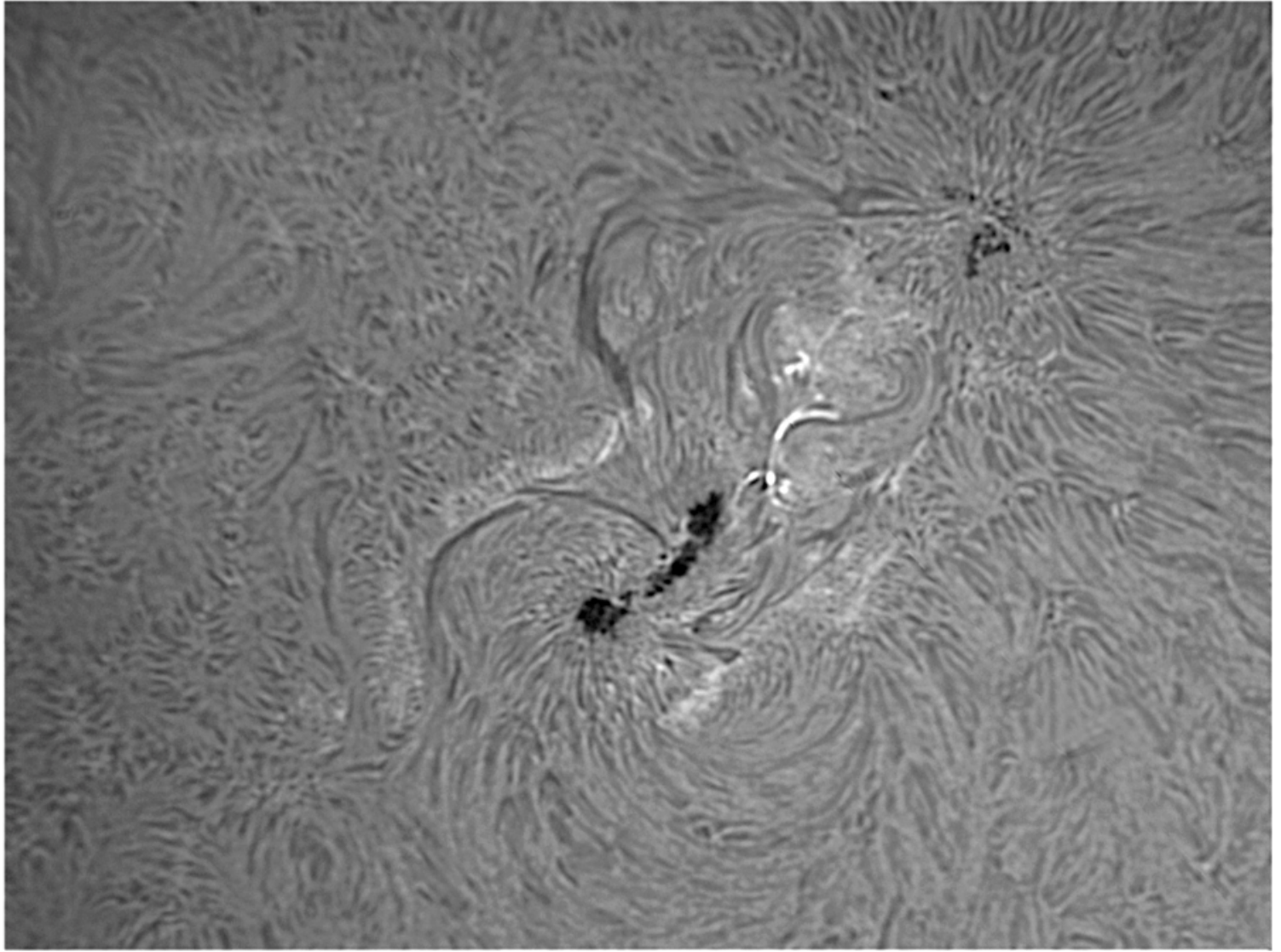
I Filamenti, strie di colore scuro, che non sono altro che proturberanze proiettate sul disco, che appaiono scure per contrasto.

Le "Spicules", l'erba della cromosfera, piccole eiezioni di plasma sulla base della cromosfera; queste non sono visibili nell'immagine soprastante, ma in quella che segue, a maggior risoluzione, che mostra il bordo della cromosfera con le spicule ed una grossa proturberanza (foto dell'autore con Coronado Pst modificato)



Nella foto sopra le "Spicules" sul bordo solare

In alcune condizioni, nella cromosfera, in prossimità delle regioni attive, si sviluppano fenomeni energetici di particolare intensità detti flares, che arrivano sino all'equivalente di 160 miliardi di megatons! Essi hanno luogo per fenomeni di ricombinazione magnetica che accelerano particelle cariche e le portano in collisione col plasma: possono essere associati, anche se non sempre, a fenomeni di eiezione di massa coronale (CME).



Un piccolo, ma esteso flare nell'AR 1302 del 2011

la zona di transizione si trova al di sopra della cromosfera , in essa la temperatura sale rapidamente dai circa 100 000 K degli strati più esterni della cromosfera, fino al milione di kelvin della corona; tale incremento causa una transizione di fase dell'elio, che qui diventa completamente ionizzato per le elevate temperature.

La zona di transizione non possiede un limite di altitudine definito: forma infatti una sorta di alone attorno alle formazioni della cromosfera come le spicole ed i filamenti ed è in moto costante e caotico. La zona di transizione non è visibile facilmente dalla Terra, ma è ben rilevabile dallo spazio attraverso strumenti sensibili alle lunghezze d'onda dell'ultravioletto distante.

La corona è la parte esterna dell'atmosfera solare, non ha limiti definiti e si estende nello spazio per decine di milioni di chilometri in modo molto tenue. È costituita da plasma a elevatissima temperatura (oltre un milione di kelvin).
Essendo il plasma molto rarefatto, la temperatura non è da intendersi nel significato convenzionale; si parla in questo caso di temperatura cinetica.

Gli strati interni della corona hanno una densità di 10^{14} – 10^{16} particelle al metro cubo (l'atmosfera terrestre al livello del mare ha una densità di 2×10^{25} particelle al metro cubo) ed è sede di numerosi fenomeni di tipo magnetico, come le espulsioni di massa (CME) e gli anelli coronali.

Gli astrofisici non sono ancora riusciti a comprendere perché la corona abbia una temperatura così elevata; essi ritengono che parte del calore sia originato dalla riconnessione delle linee del campo magnetico solare.

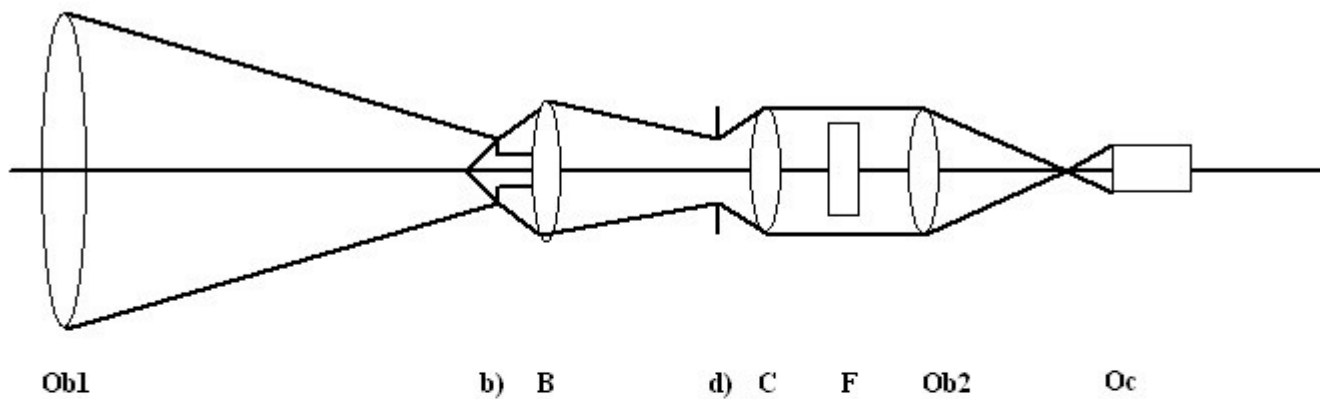


Luc Viatour

Corona solare, credito Luc Viatour

Anche la corona non è normalmente visibile, ma lo è in occasione delle eclissi totali di sole, ovvero con uno speciale strumento detto coronografo, che simula un'eclisse occultando il disco solare.

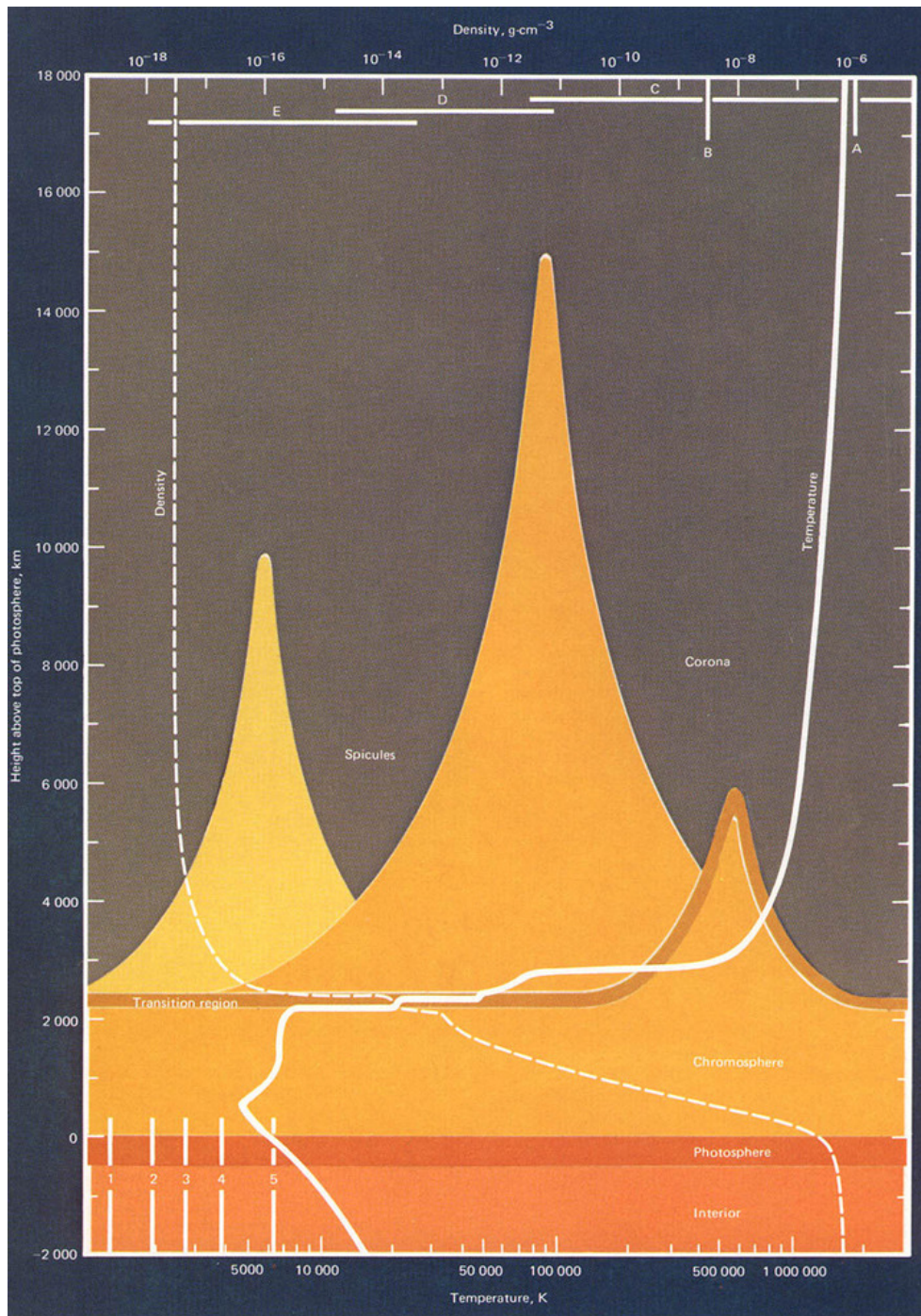
FIG. 1



- Ob1 - Obiettivo del Rifrattore
- b - Schermo
- B - Lente di campo
- d - Diaframma regolabile
- C - Lente collimatrice
- F - Filtro H-alfa
- Ob2 - Obiettivo del cannocchiale
- Oc - Oculare

Schema di un coronografo, fonte M.Lugli

L'immagine che segue, fonte NASA-Skylab, fornisce il diagramma della temperatura e densità del sole da 2000 Km sotto la fotosfera alla corona. Si tratta di due elementi fondamentali per capire la dinamica solare.



Il Vento solare

Il vento solare è un flusso di particelle cariche emesso dall'alta atmosfera del Sole: esso è generato dall'espansione continua nello spazio interplanetario della corona solare; detto flusso è normalmente composto da elettroni e protoni ad alta energia. In pratica si tratta di un plasma estremamente tenue, di velocità che va da 200 a 900 Km sec esso impiega da 2 a 9 giorni per interagire con la magnetosfera terrestre, perturbandola a volte seriamente.

Il vento solare non è uniforme, sia come direzione che velocità, come si può osservare dall'immagine che segue (Fonte NASA).

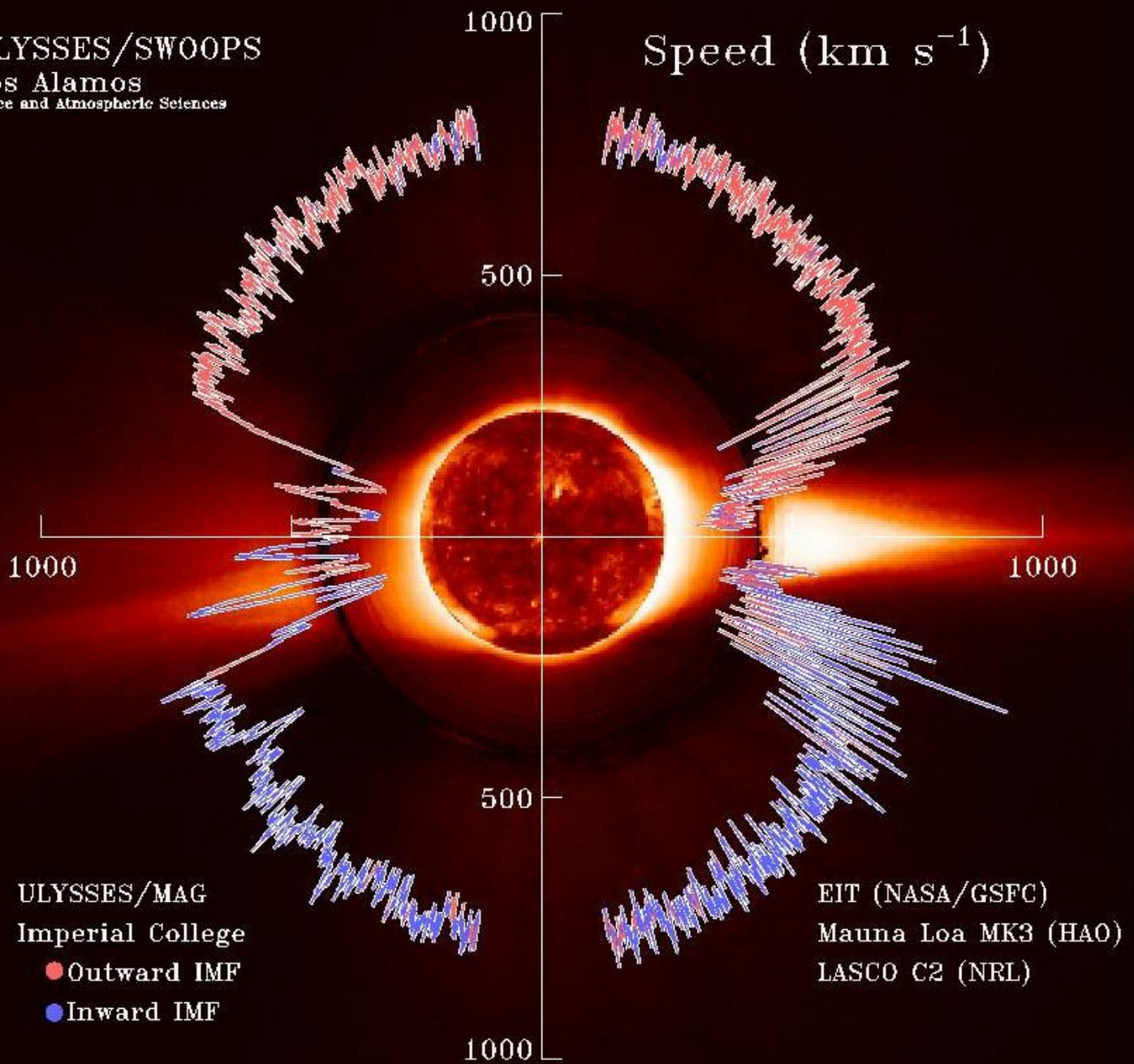
Il vento solare crea una "bolla" nel mezzo interstellare (che è composto dal gas rarefatto di idrogeno ed elio che riempie la galassia), che prende il nome di eliosfera. Il bordo più esterno di questa bolla è dove la forza del vento solare non è più sufficiente a spingere indietro il mezzo interstellare.

Questo bordo è conosciuto come eliopausa, ed è spesso considerato come il confine esterno del sistema solare. La distanza dell'eliopausa non è conosciuta con precisione.

ULYSSES/SWOOPS

Los Alamos
Space and Atmospheric Sciences

Speed (km s^{-1})



Gli Strumenti professionali dell'Osservazione solare

Strumenti terrestri: La torre solare

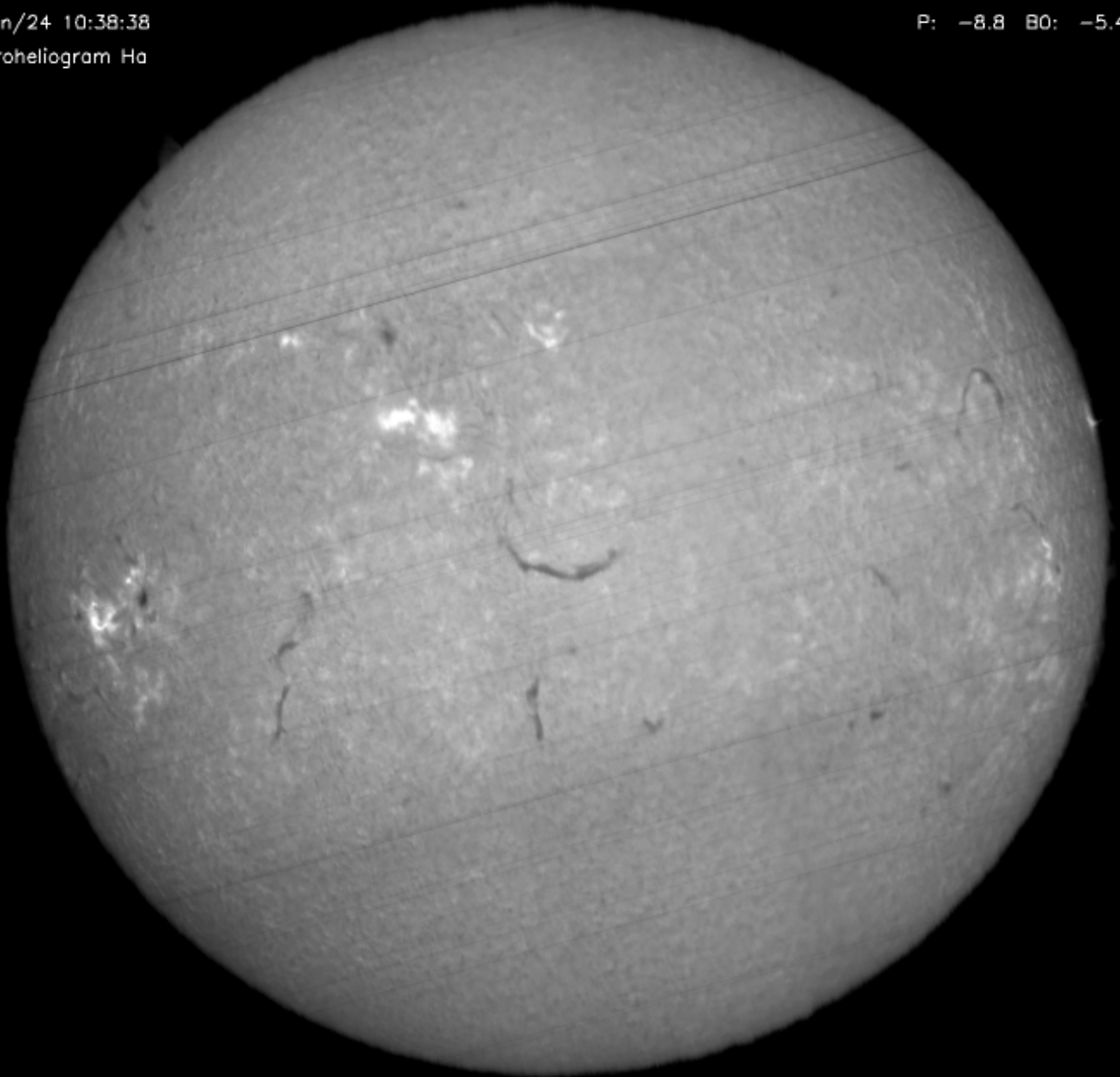
La torre solare, ora purtroppo in disuso nella maggior parte degli Osservatori in quanto superata dalla strumentazione su satellite, consiste in una struttura di una certa altezza (20-30 mt) in cima alla quale c'è un celostata, ovvero uno specchio piano su una montatura motorizzata che insegue il cammino apparente del sole sulla volta celeste e che ne rinvia l'immagine ad un secondo specchio, generalmente parabolico, di focale molto lunga. Tale immagine del sole viene poi focheggiata sulla strumentazione alla base della torre, in genere uno **spettroeliografo**, ossia uno spettroscopio ad alta risoluzione da cui si ottengono immagini del sole in luce bianca o nelle varie lunghezze d'onda (Idrogeno, Calcio etc.).

Nell'immagine che segue è mostrata la torre solare dell'Osservatorio di Roma, sulla collina di Monte Mario, alta 34 mt (fonte : INAF, Osservatorio di Roma), oggi non più operativa ma dedicata alla divulgazione scientifica e visitabile da scolaresche e privati.



Observatoire de Paris–Meudon
15/Jan/24 10:38:38
Spectroheliogram Ha

ROT: 2159 Lc:103.2
P: -8.8 B0: -5.4



***Un'immagine della cromosfera sole in luce Idrogeno Alfa
ottenuta con la torre solare dello Spettroeliografo
dell'Osservatorio di Meudon, a Parigi***

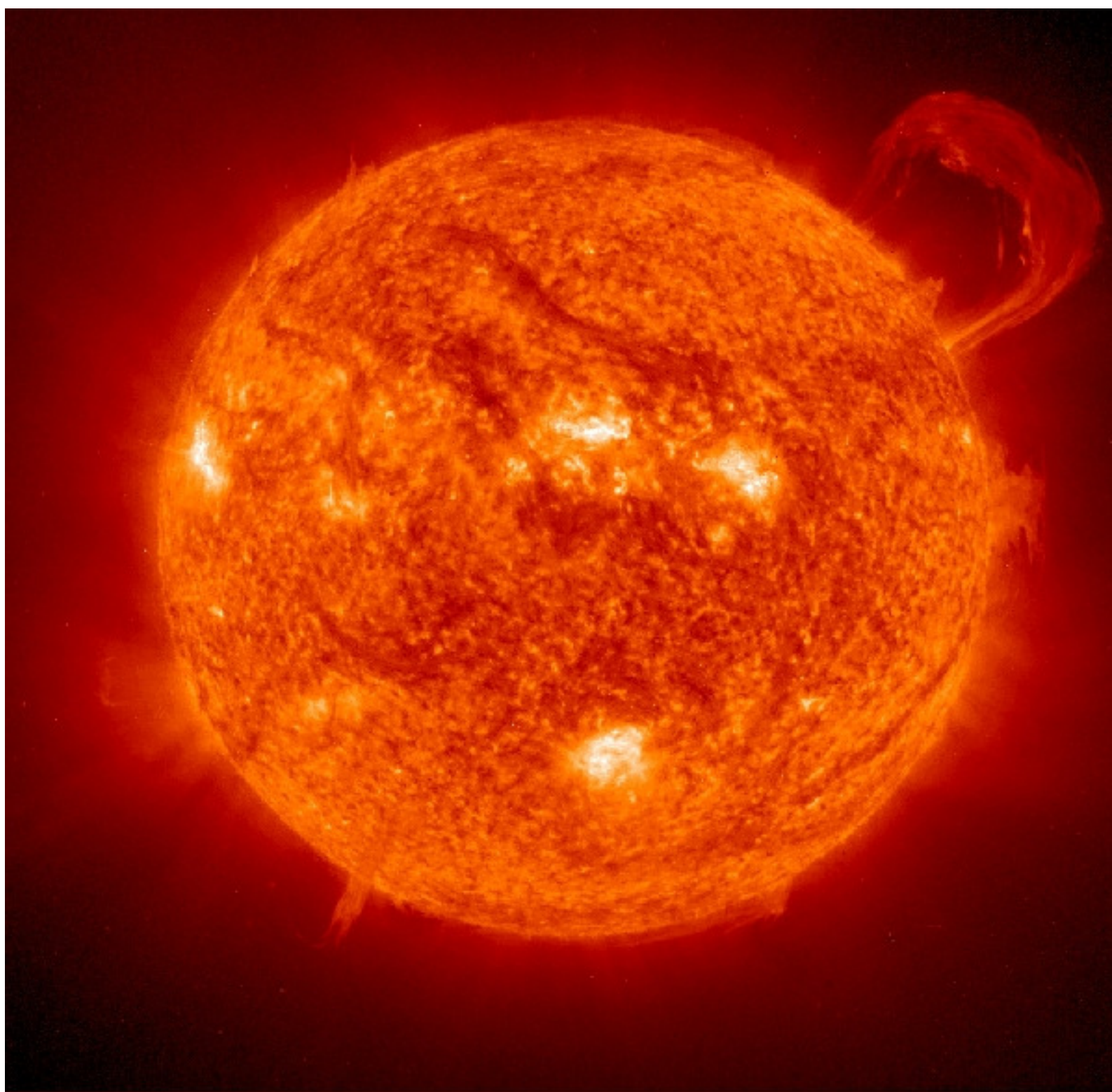
I Sistemi di Osservazione satellitari:

SOHO, SDO, STEREO, IRIS

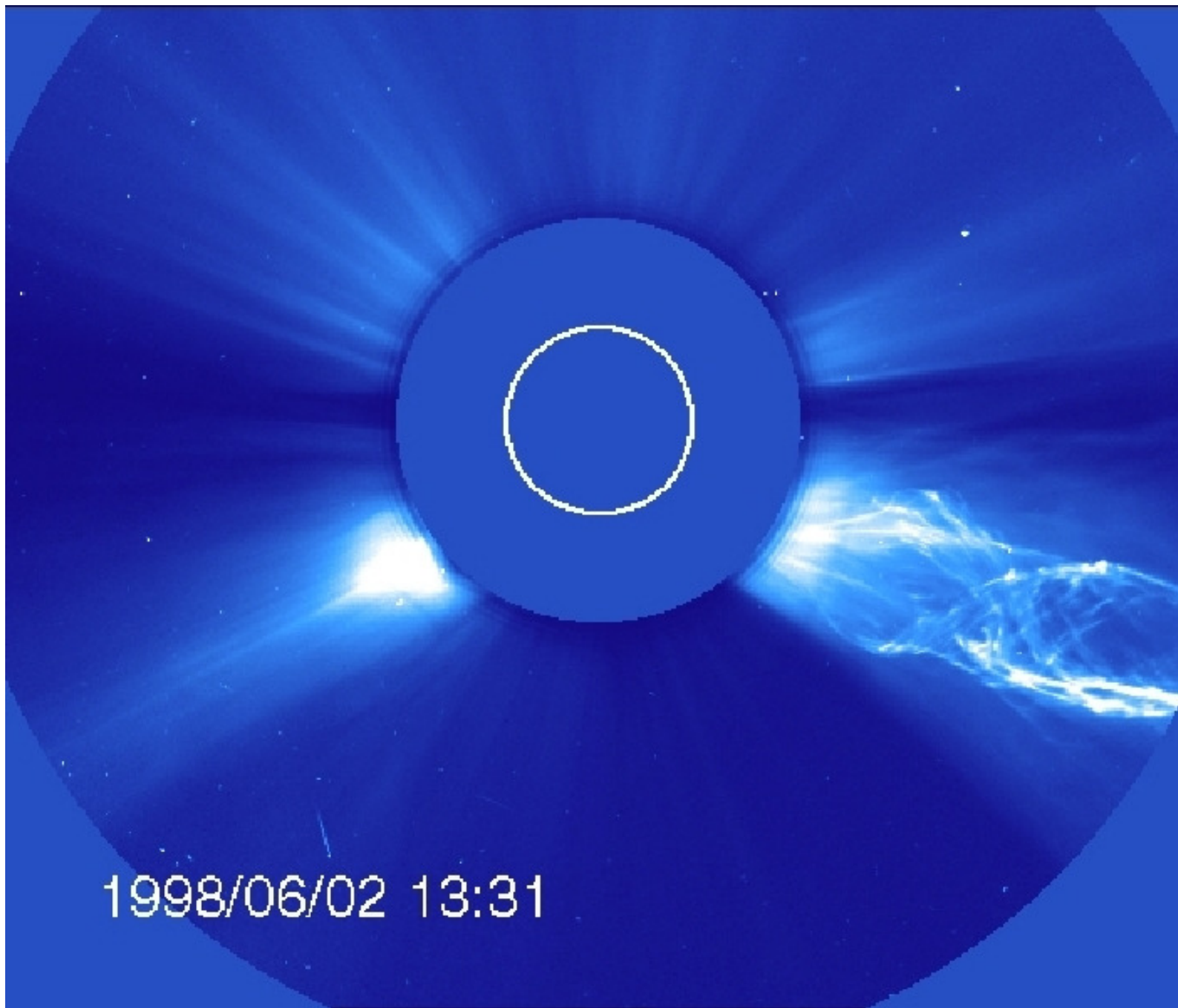
1- SOHO (Solar and Heliospheric Observatory)

SOHO è in progetto di collaborazione tra ESA e NASA per lo studio della struttura del sole, dal suo nucleo alla corona ed al vento solare. Il satellite fu lanciato il 2 dicembre 1995, con un pacchetto di dodici strumenti di costruzione Europea e Statunitense. La Nasa fu responsabile del lancio e del controllo della missione. Soho ha fornito dati senza precedenti e di primaria importanza sulla struttura e la dinamica solare, quali:

- Immagini della struttura di Convezione al di sotto della fotosfera***
- dati sulla rotazione interna e sul flusso di gas***
- dati fondamentali sul vento solare***
- la scoperta di onde coronali***



***Un'eccezionale proturberanza ripresa dall'EIT di SOHO a 304 A
(Fonte : Soho- NASA)***



Una gigantesca CME (Coronal mass ejection) ripresa dal coronografo LASCO 2 di SOHO (Fonte SOHO-NASA)

2-Stereo

(Solar TERrestrial RELations Observatory)

STEREO è la seconda recente missione del programma solare della NASA (Ottobre 2006). Impiega due osservatori spaziali quasi identici - uno davanti a Terra nella sua orbita (Stereo A), l'altro in una diversa posizione (Stereo B) per fornire la prima volta misure stereoscopiche per studiare il Sole e la natura delle sue espulsioni di massa coronale, o CME.

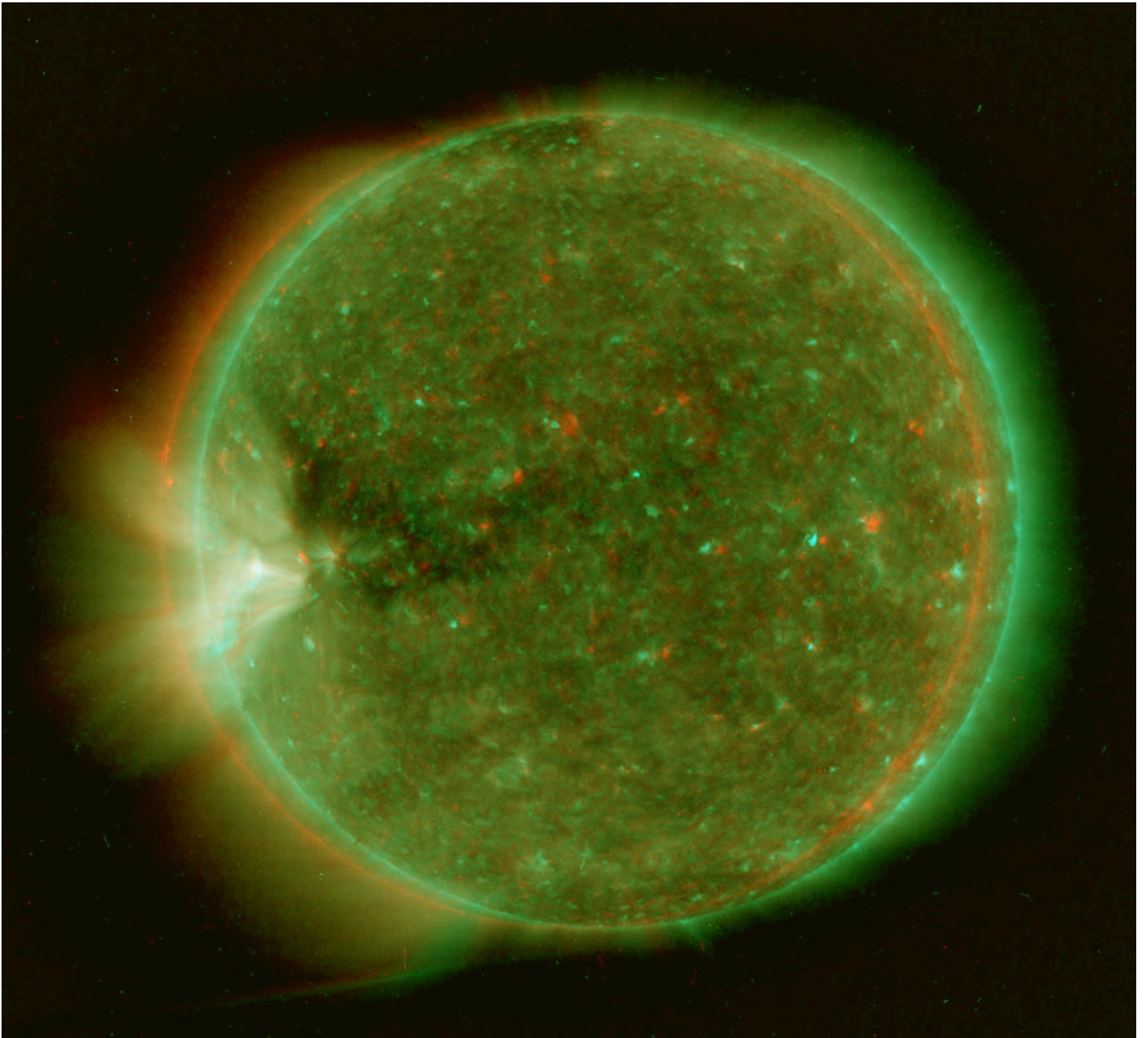
Obiettivi scientifici di STEREO sono:

-Comprendere le cause dei meccanismi di espulsione di massa coronale (CME). Caratterizzare la propagazione del CME attraverso l'eliosfera.

-Scoprire i meccanismi e siti di accelerazione di particelle energetiche nella bassa della corona e il mezzo interplanetario

-Migliorare le conoscenze della struttura del vento solare .

Dal 1 ottobre 2014 le comunicazioni con STEREO B si sono interrotte e non sono state riprese, prevedibilmente per un'anomalia tecnica.



Un'immagine in 3D di Stereo nell'estremo UV a 284 A

3- SDO (Solar Dynamics Observatory)

Il Solar Dynamics Observatory è stata la prima missione della NASA ad essere lanciata sulla base di un programma ideato per comprendere le cause della variabilità solare e il suo impatto sulla Terra. SDO è stato progettato per meglio comprendere l'influenza del Sole sulla Terra e nello spazio vicino alla Terra studiando l'atmosfera solare su piccole scale di spazio e tempo e contemporaneamente in molte lunghezze d'onda. L'obiettivo di SDO è di capire, guidando verso una capacità predittiva, le variazioni solari che influenzano i sistemi tecnologici della Terra e la vita dell'umanità determinando

- come si genera il campo magnetico del Sole e come è strutturato***
- come questa energia magnetica immagazzinata viene convertita e rilasciato nel eliosfera sotto forma di vento solare, particelle energetiche, e variazioni di irraggiamento solare.***

• SDO è stato lanciato in data 11 febbraio 2010 su un Atlas V dalla SLC 41 da Cape Canaveral.

Strumenti

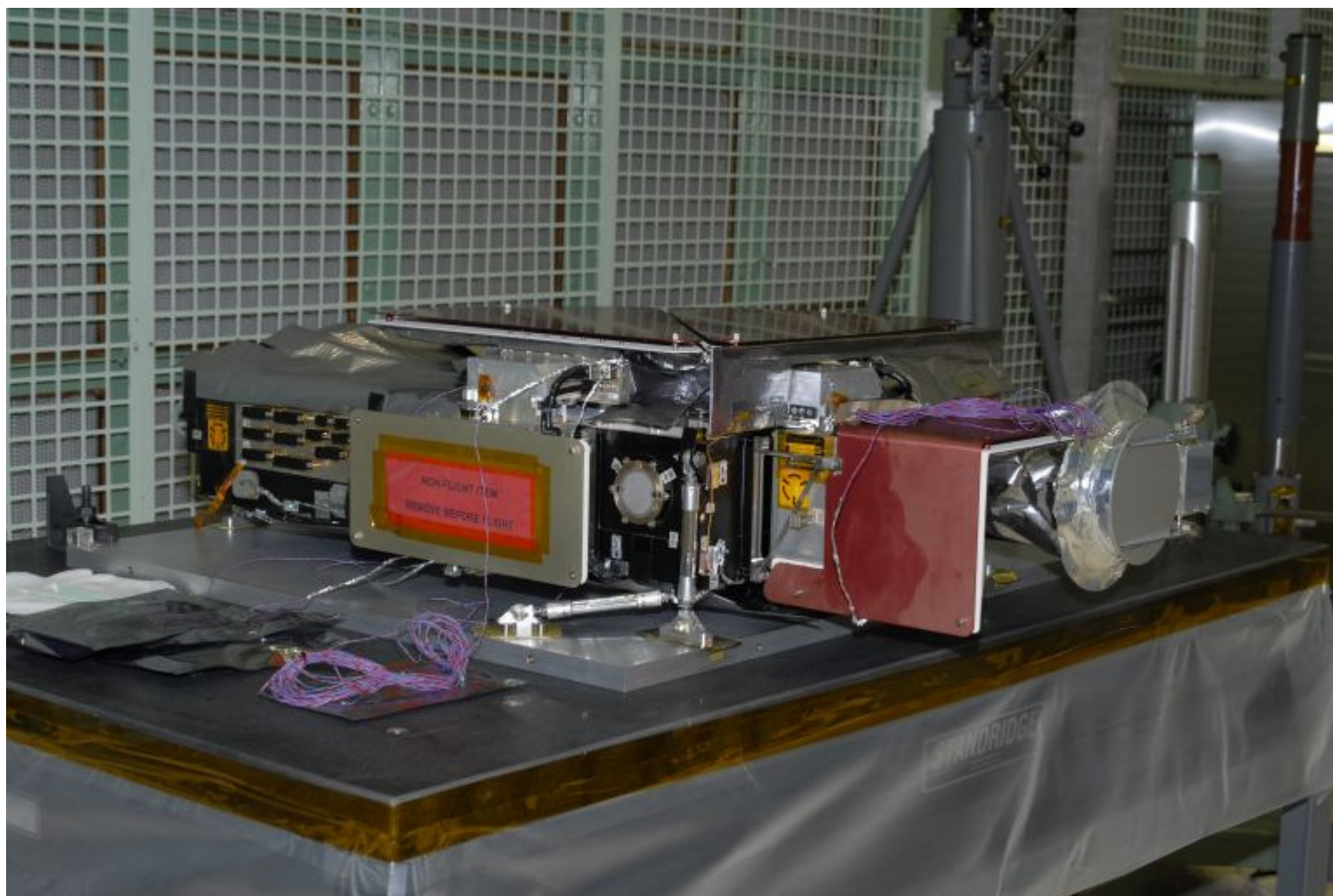
SDO usa tre strumenti (foto sotto, credito NASA-SDO) per effettuare tre esperimenti scientifici principali:

- Atmospheric Imaging Assembly (AIA)***
- EUV Variability Experiment (EVE)***
- Heliosismic and magnetic Imager (HMI)***

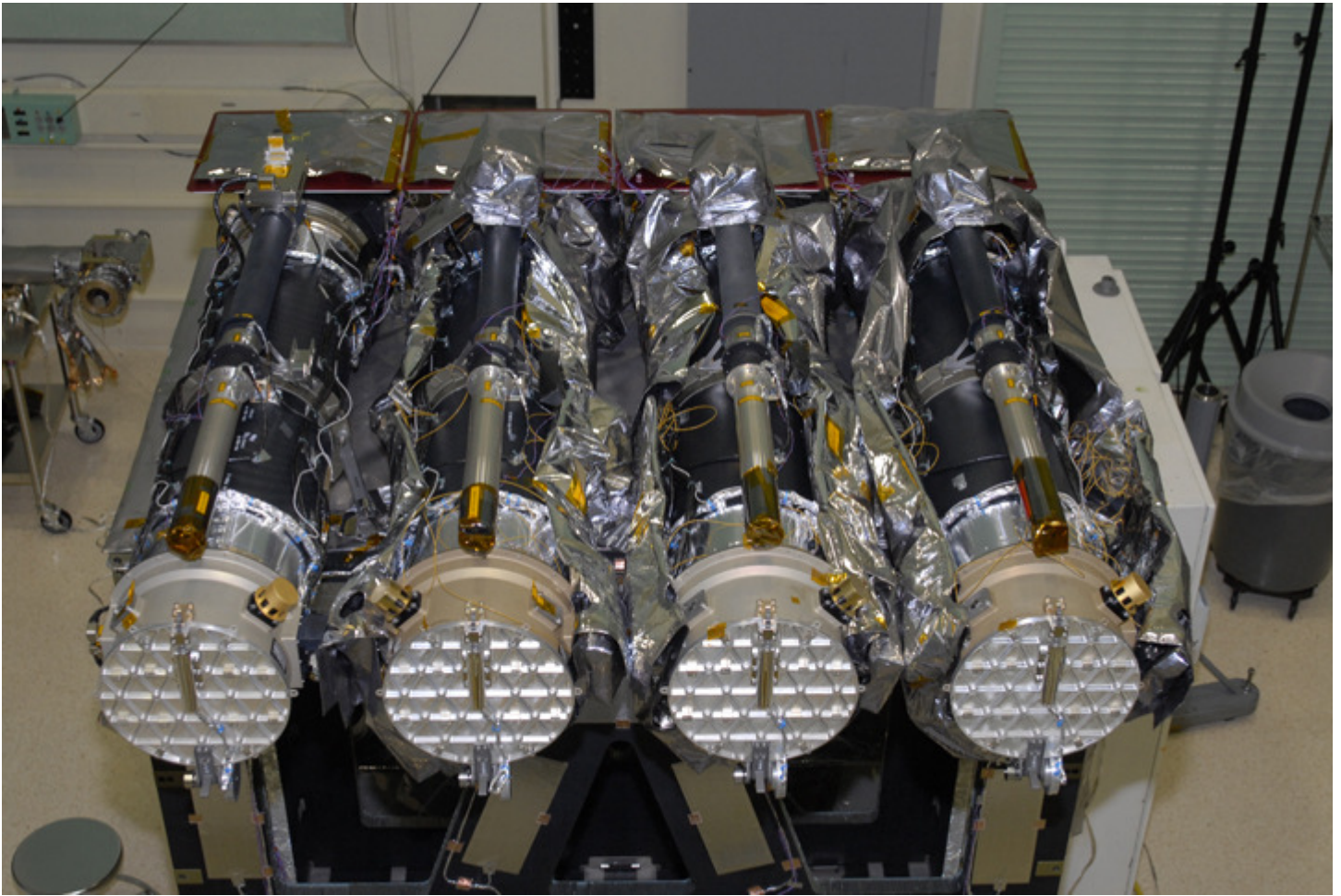
Ognuno di questi esperimenti esegue diverse misurazioni che caratterizzano come e perché il Sole varia. Questi tre strumenti possono osservare il Sole contemporaneamente, eseguendo l'intera gamma di misure necessarie per comprendere le variazioni solari ed il loro impatto sulla terra.

In particolare, l'HMI estende le capacità del SOHO-MDI alla copertura continua del disco solare ad una più alta risoluzione.

Attualmente SDO è la missione di riferimento per tutti i ricercatori solari su scala planetaria.

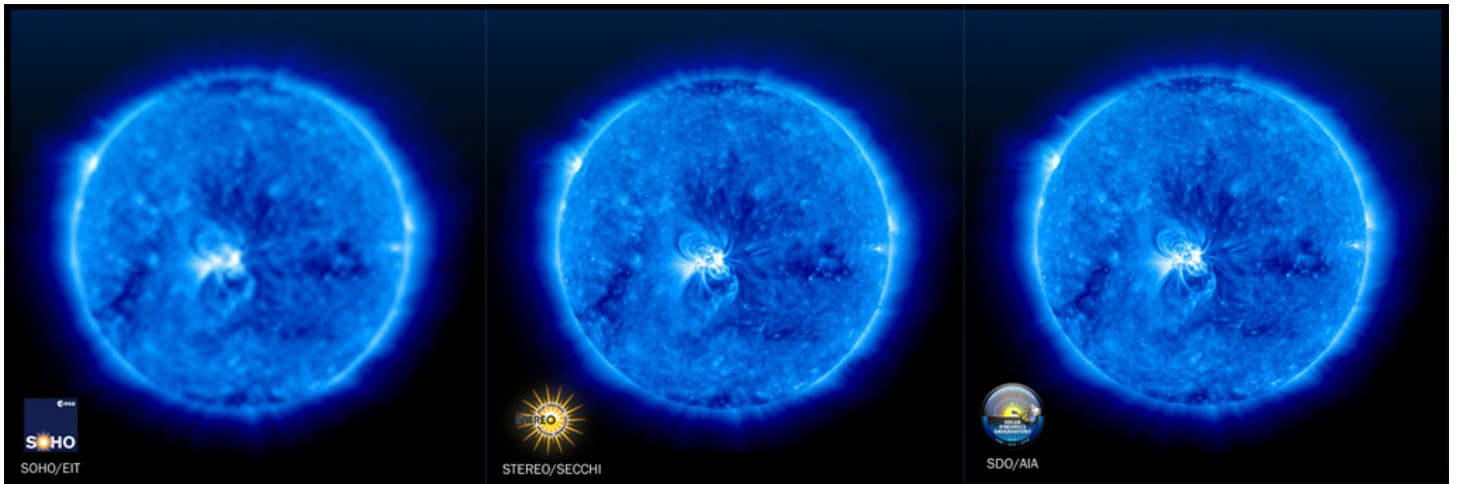


L'Atmospheric Imaging Assembly (AIA) riprende immagini del disco solare in lunghezze d'onda multiple

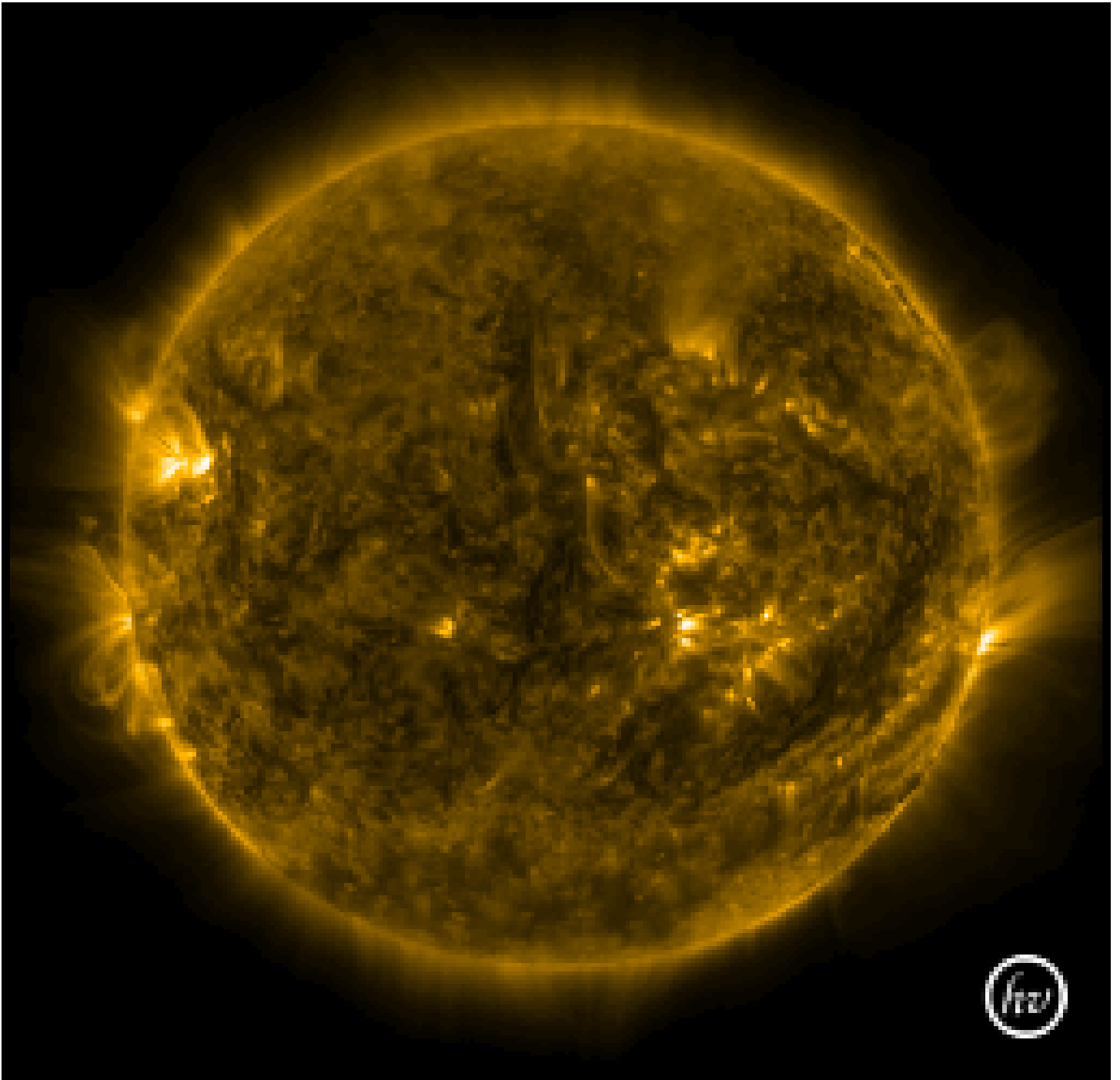


_L'EUV Variability Experiment (EVE) misura l'irradianza solare nell'estremo ultravioletto con una precisione senza precedenti.

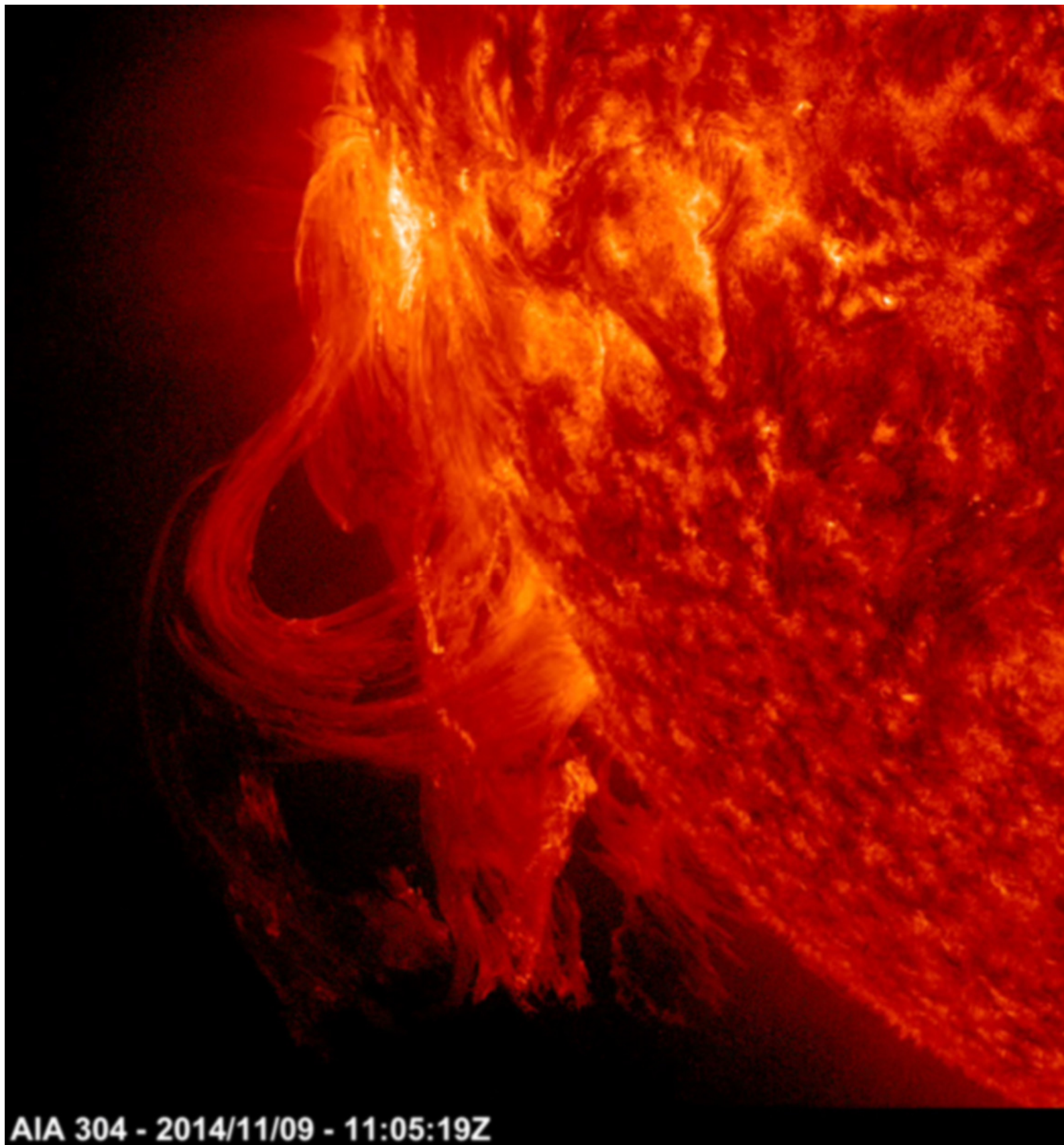
L'immagine seguente mostra la diversa capacità risolutiva dell'imaging di SDO rispetto a Stereo e SOHO; l'AIA ha il doppio della risoluzione di Stereo e 4 volte quella di SOHO.



Qui di seguito,alcune pettacolari immagini dell'SDO-AIA



Le zone di attività solare in luce UV



Un' eccezionale eruzione solare del novembre 2014 ripresa da SDO-AIA in luce UV a 304 nm

4) IRIS

(Interface Region Imaging Spectrograph)

IRIS, lanciato il 27 giugno 2013 ,costituisce un'ulteriore più recente approccio strumentale allo studio del flusso di plasma dalla corona nell'eliosfera e quindi all'interazione sole-terra.Lo spettroeliografo di IRIS ottiene immagini in alta risoluzione spaziale (1/3 arcs) e di tempo (1 sec)nell'UV lontano (1332 e 2785 A) della cromosfera e della regione di transizione.

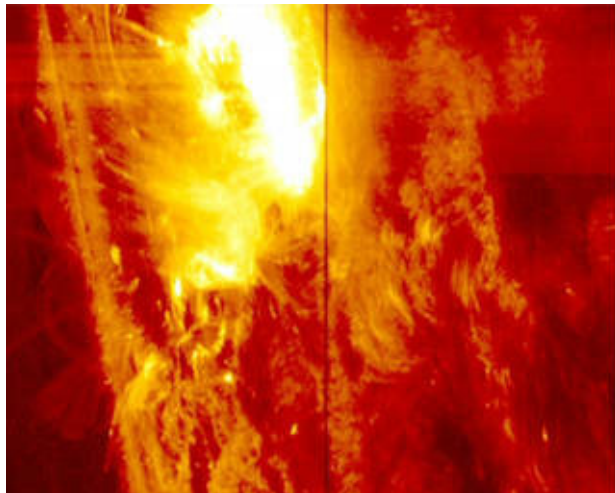
Gli obiettivi scientifici di IRIS sono:

- ***Comprendere che tipo di energia non termica predomina in cromosfera ed oltre***
-
- ***Capire in che modo la cromosfera regola la massa e l'energia fornite alle regioni di transizione ed alla corona***
-
- ***Studiare in che modo i flussi magnetici e di materia si elevano dalla bassa atmosfera solare e che ruolo rivestono nell'origine dei flares e dei CME.***



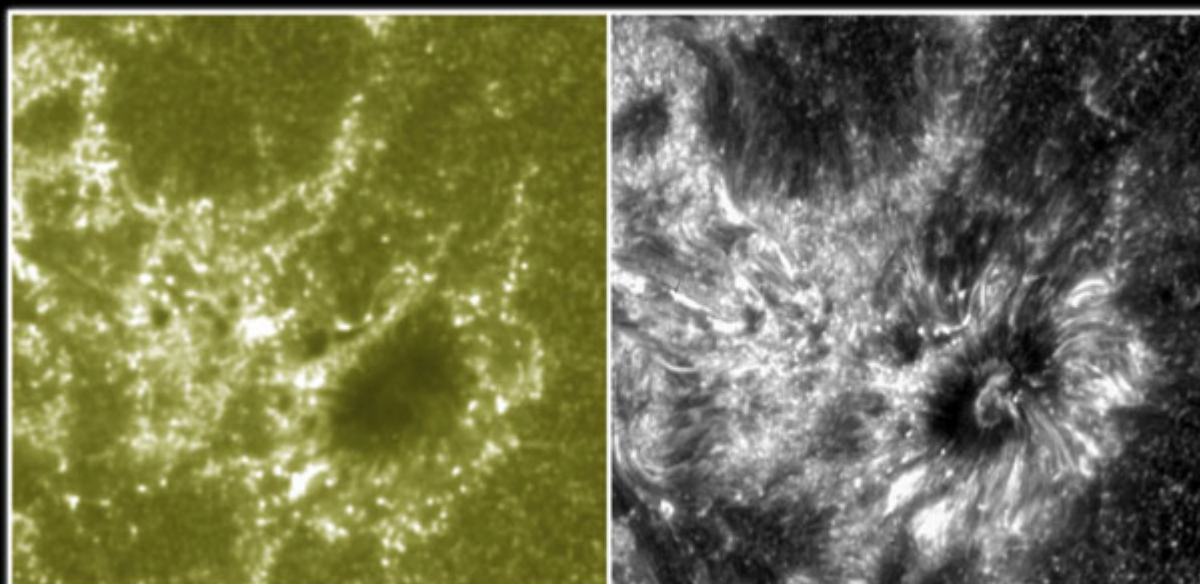
La struttura del satellite (fonte NASA-IRIS)

Il 28 gennaio 2014 IRIS ha ripreso il più intenso flare dall'epoca del suo lancio



Fonte NASA -IRIS

Comparazione tra la risoluzione di IRIS e di SDO- AIA (Fonte NASA-IRIS); come si osserva, la capacità risolutiva di IRIS è nettamente superiore, ed i particolari visibili notevolmente maggiori rispetto allo SDO -AIA.



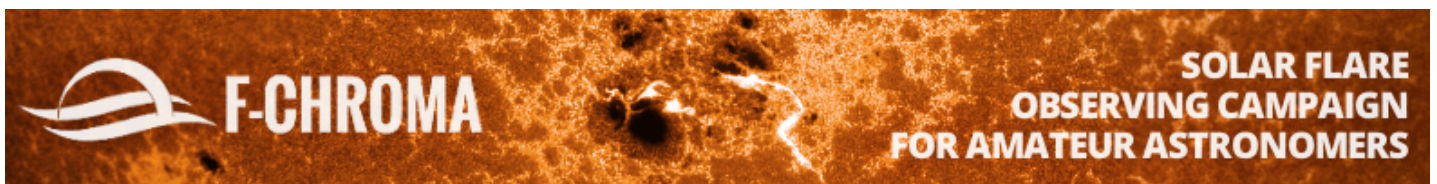
SDO AIA 1600

IRIS Si IV

Sulla base delle osservazioni effettuate da IRIS nelle regioni del sole dove è più probabile l'emissione dei flares, è stato sviluppato il seguente progetto osservativo per il quale è stata richiesta la partecipazione degli astrofili. Di seguito il resoconto dell'iniziativa, cui ha partecipato anche chi scrive.

F-CHROMA progetto F-Hunters

Una campagna di osservazione e monitoraggio dei flares solari per astrofili



Dal 19 al 27 settembre, F-CHROMA | Flare Chromospheres: Observations, Models and Archives ha organizzato una campagna per l'osservazione ad alta risoluzione di flares solari, che vede coinvolti diversi dei principali Osservatori e strumenti sia da Terra che dallo spazio, tra cui CRISP@SST, IBIS@DST e IRIS. Questi strumenti forniscono dati spettrali preziosissimi, in particolare per quel che riguarda il problema della deposizione dell'energia nella "bassa" atmosfera solare, ma hanno campi di vista molto limitati (tra 1 e 2 minuti d'arco). L'acquisizione di immagini di

contesto risulta quindi fondamentale per una completa comprensione del fenomeno, ed in tale ambito la partecipazione degli astrofili solari si è rivelata di grande utilità. La campagna è stata quindi un interessante episodio di collaborazione professionisti-amatori nell'intento finale di una migliore comprensione dei fenomeni che avvengono in cromosfera Flare Hunters Observing Campaign - F-CHROMA Outreach - Understanding of Solar Flares

La campagna, tuttavia, perlomeno qui in Italia, è stata caratterizzata da un meteo avverso , mentre il sole è stato quanto mai dispettoso, elargendo i suoi flares nei periodi non compresi nella finestra osservativa, in genere coincidente con quella della missione IRIS: (Interface Region Imaging Spectrograph) tra le 11 e le 17 UT.

Personalmente ho trovato questa campagna molto utile, oltre che per la possibilità di fornire un contributo scientifico, anche per imparare a produrre immagini che sono l'esatto contrario di quanto noi astrofili siamo abituati a fare , nel senso che è assolutamente vietata qualsiasi forma di elaborazione, mentre è invece richiesta una calibrazione con dark, flat e offset ed un rigoroso controllo dei tempi di acquisizione. Ho effettuato tre sessioni. Il 22, il 24 ed il 27 settembre, ma solo in quest'ultima ho potuto (finalmente) registrare un flare.

Circa le modalità operative, queste erano molto semplici: il giorno prima F Hunters pubblicava sul suo sito ed avvertiva via mail ai partecipanti, del target scelto per il giorno successivo e degli orari di osservazione, con un'immagine composita come quella che segue, nella quale era anche mostrata il posizionamento della fenditura dello spettroeliografo di IRIS e le immagini di riferimento del BBSO o SDO.



<http://fchroma.astro.uni.wroc.pl>

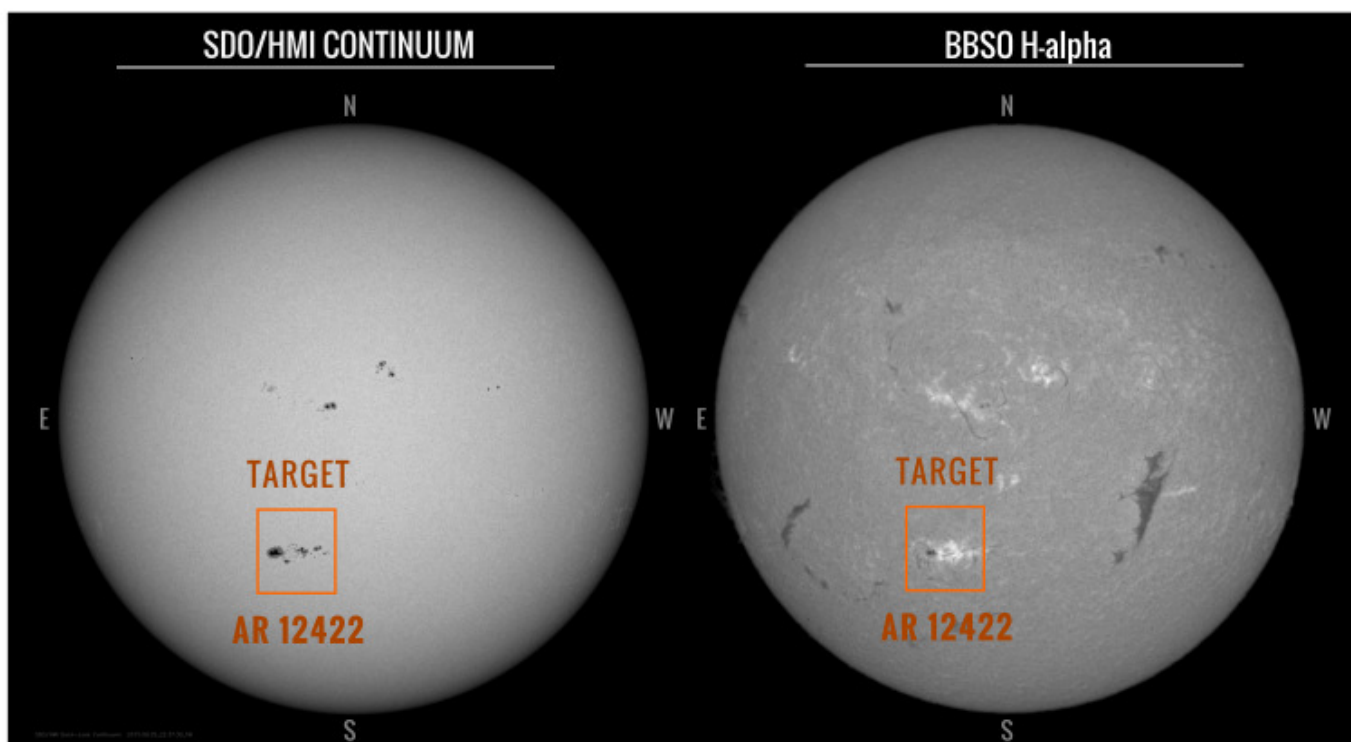
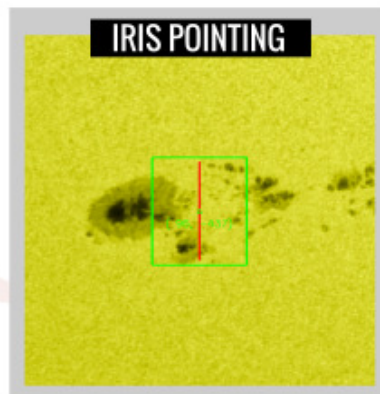
F-HUNTERS

DAY 9

TARGET INFORMATION FOR F-HUNTERS OBSERVERS

DATE | 27 SEP 2015
TIME (UT) | 10:57-12:54* / ALL DAY**
TARGET | AR 12422

* Hours of IRIS observation time.
** Flare observations from all day are requested.



Ma partiamo dall'inizio, ovvero dal tutorial (in inglese) sul sito web che specifica le modalità operative in caso di riprese CCD con videocamere, come nel mio caso ed in quello di molti utenti amatoriali.

Le prime tre regole fondamentali e di carattere generale che venivano raccomandate erano le seguenti:

1-Il tempo: per poter seguire l'evoluzione dei fenomeni occorrono immagini individuate nel tempo con la massima precisione possibile

2-Calibrazione: tutti i possibili effetti strumentali vanno rimossi dai dati ricevuti

3-Obiettività: le immagini devono essere quanto più obiettive possibile, quindi senza alcuna forma di elaborazione; quindi maschere sfocate, aggiustamento del contrasto, filtri di ogni genere, non sono consentiti in quanto alterano il segnale raw.

A ben guardare, tali regole sono comuni a qualsiasi acquisizione di immagine per fini scientifici, e noi astrofili dobbiamo quindi dimenticare l'istintivo impulso al miglioramento estetico dell'immagine: per fini scientifici servono immagini reali, pure, non belle, ma analizziamo queste regole in dettaglio.

Il tempo

Per sincronizzare con esattezza i nostri dati con quelli di altri osservatori e dei satelliti la precisione della indicazione temporale delle immagini o dei nostri video è fondamentale. Grazie ai computers che usiamo possiamo acquisire ed inserire nei video dati temporali estremamente precisi, a patto di sincronizzare il nostro PC con alcuni server NTP e mantenere la sincronizzazione usando dei client appositi. Un'ottima applicazione freeware è NetTime NetTime - Network Time Synchronization Tool essa sincronizza periodicamente il clock del sistema con un'accuratezza sino a 50 milliseccs.

La Calibrazione

Può sembrare strana l'esigenza di dover calibrare le immagini solari, caratterizzate da molta luce e da tempi di integrazione ridottissimi. Tuttavia la nostra strumentazione, telescopio in testa, ed i vari accessori, filtri compresi, non sono perfetti: occorre quindi eseguire una serie di correzioni, del resto comuni a tutte le immagini astronomiche, per ottenere immagini finali depurate da tutti i difetti. Queste correzioni sono le seguenti:

1-OFFSET: detto anche bias frame, l'offset determina il più basso valore che ciascun pixel dell'immagine indica. Si potrebbe pensare che il valore di un pixel non illuminato sia sempre zero, ma non è così, e l'offset tende appunto a

riportare questo valore a zero. Esso si ottiene riprendendo una sequenza di frames al più veloce valore di integrazione permesso dalla camera. Nel caso della IS DMK, ad esempio, questo è di 1/10000 di sec e sottraendo il risultato dall'immagine da correggere.

2-DARK la dark frame contiene il segnale associato alla corrente di buio, ovvero al rumore generato dal movimento termico degli elettroni: la corrente di buio aumenta con l'aumentare dell'integrazione e della temperatura, così nelle camere CCD per astronomia si usa un sistema di raffreddamento del sensore per ridurla al minimo: La dark nelle immagini solari si ottiene riprendendo col telescopio oscurato con un tappo allo stesso numero di frames (ad es. 300) ed alla medesima velocità di acquisizione (ad es. 1/15) usata per l'immagine da calibrare, e va sottratta da questa.

3-FLAT FIELD la flat è completamente diversa concettualmente dalle due correzioni precedenti, e rappresenta la foto di una superficie uniformemente illuminata, che ne evidenzia le imperfezioni, come sporcizia o granelli di polvere sul sensore o sugli elementi ottici ad esso vicini (filtri) ovvero la vignettatura del sistema ; l'immagine principale va quindi divisa per la flat per uniformarne il campo e togliere i difetti.

L'Obiettività

L'obiettività discende dall'esigenza di ottenere immagini che riflettano la realtà senza artefatti o alterazioni derivanti dall'uso di algoritmi di enfattizzazione o modifica del segnale originario. La differenza tra immagini esteticamente belle e piacevoli ed immagini utilizzabili per finalità scientifiche è quindi sostanziale. Tali immagini dovranno inoltre essere di un formato senza perdita di informazione, come il Fits o il Tiff

Iniziando la campagna, mi sono posto il problema se potessero essere di qualche utilità le mie immagini spettroeliografiche dell'intero disco solare , e mi è stato confermato che potevo usare quelle in luce Idrogeno beta. Mi sono quindi anche attrezzato per una survey in tale lunghezza d'onda con il mio spettroeliografo digitale VHIRSS. Purtroppo lo strumento è posizionato nel mio appartamento a Roma Montesacro, dove ho una finestra di visibilità del sole di circa 1 h e 1/4, tra le 9.30 e le 10.45 tempo locale, quindi fuori dal tempo di osservazione

di IRIS: ho comunque registrato una serie di immagini del disco solare in H beta per ciascun giorno della campagna osservativa.

La strumentazione da me usata

Una volta elencati questi principi di carattere generale, posso passare a raccontare la mia personale esperienza di partecipazione all'iniziativa.

Innanzitutto la strumentazione da me usata, che, è bene precisare, costituisce un caso particolare di quella a disposizione della massima parte degli astrofili che si occupano di osservazione solare. Questi ultimi si dedicano esclusivamente all'osservazione in luce bianca e H α (alcuni, pochi, in luce CaK), mentre i miei spettroeliografi digitali possono accedere a qualsiasi lunghezza d'onda.

Il primo, VHIRSS, spettroeliografo digitale ad alta risoluzione, è stato usato la mattina dei giorni della survey intorno alle ore 10 locali (8 TU) per la ripresa del disco solare in luce H beta a 4861 Å, così come suggeritomi dai coordinatori del progetto. Cio penso sia dovuto al fatto che i flares appaiono più evidenti in tale lunghezza d'onda. Dalla mia postazione casalinga di Roma Montesacro ho tuttavia a disposizione una fetta di cielo di 30 ° circa, che mi dà una finestra osservativa di circa 1,5 ore, in media tra le 9,15 e le 11,45.



VHIRSS, il più efficiente dei miei spettroelioscopi digitali e quello che uso di più, in azione per alcune riprese CCD mattutine per il progetto F -Chroma

Per l'osservazione in luce H alpha a media risoluzione (quella più redditizia ai fini del progetto), ho usato il mio PST modificato su un ottica TAL 100 R da 1000 mm di EFL, nelle foto che seguono visibile con applicato il modulo per il Flat field, dal mio Osservatorio di Ponte di Nona. che mi permette una visibilità del cielo nettamente più ampia.





La procedura seguita con una camera IS DMK 41 AS, una EQ6 ed un Coronado PST modificato con l'ottica di un TAL 100 R

La DMK 41 AS, videocamera commerciale con sensore Sony ICX 205 AL, da 1/2 " e 1,3 MP (1280 x 960) è la camera che uso normalmente per le riprese solari. Pur essendo ormai superata da altri hardware più recenti, essa ha un'elettronica di buon livello e, cosa ancora più importante, un software completo ed affidabile (IC Capture).

1) La prima operazione importante, è stata quella di aggiornare l'orologio del computer che uso nel mio osservatorio con l'orario di Net Time. Non avendo un collegamento internet, ho aggiornato un preciso orologio digitale ed ho trasferita l'ora sul PC con una precisione di circa 1 sec, non ho potuto fare di più. Per coloro che hanno una connessione internet basta scaricare Net sync tool e farlo girare per avere l'ora sincronizzata ed esatta .

2) Ho quindi settato il programma di acquisizione IC Capture in modo da inserire nel nome dei Video da acquisire la data e l'ora del PC (in modo da avere dei files tipo "Sun Ha X-X-X XY-XT-XZ", il numero dei frames in 300, e la velocità di acquisizione massima per la camera (15 Fps). Ho settato luminosità e gain a 0 e il codec al formato senza compressione.

3) Ho inquadrato il sole con l'EQ6 .Il software di detta montatura non prevede il puntamento del sole per motivi prudenziali, ed ho quindi dovuto ricorrere ad un'astuzia: ho controllato con un planetario la stella più vicina al sole (nel mio caso Regolo) ed ho effettuato una routine di allineamento su quella stella, in modo da posizionare il telescopio in prossimità del sole, e, aiutandomi coi movimenti della pulsantiera ho infine inquadrato il sole nel crocifilo del cercatore (munito di filtro Astrosolar).



IL PC usato per la campagna (notare la copertura di cartone per evitare riflessi di luce sullo schermo)

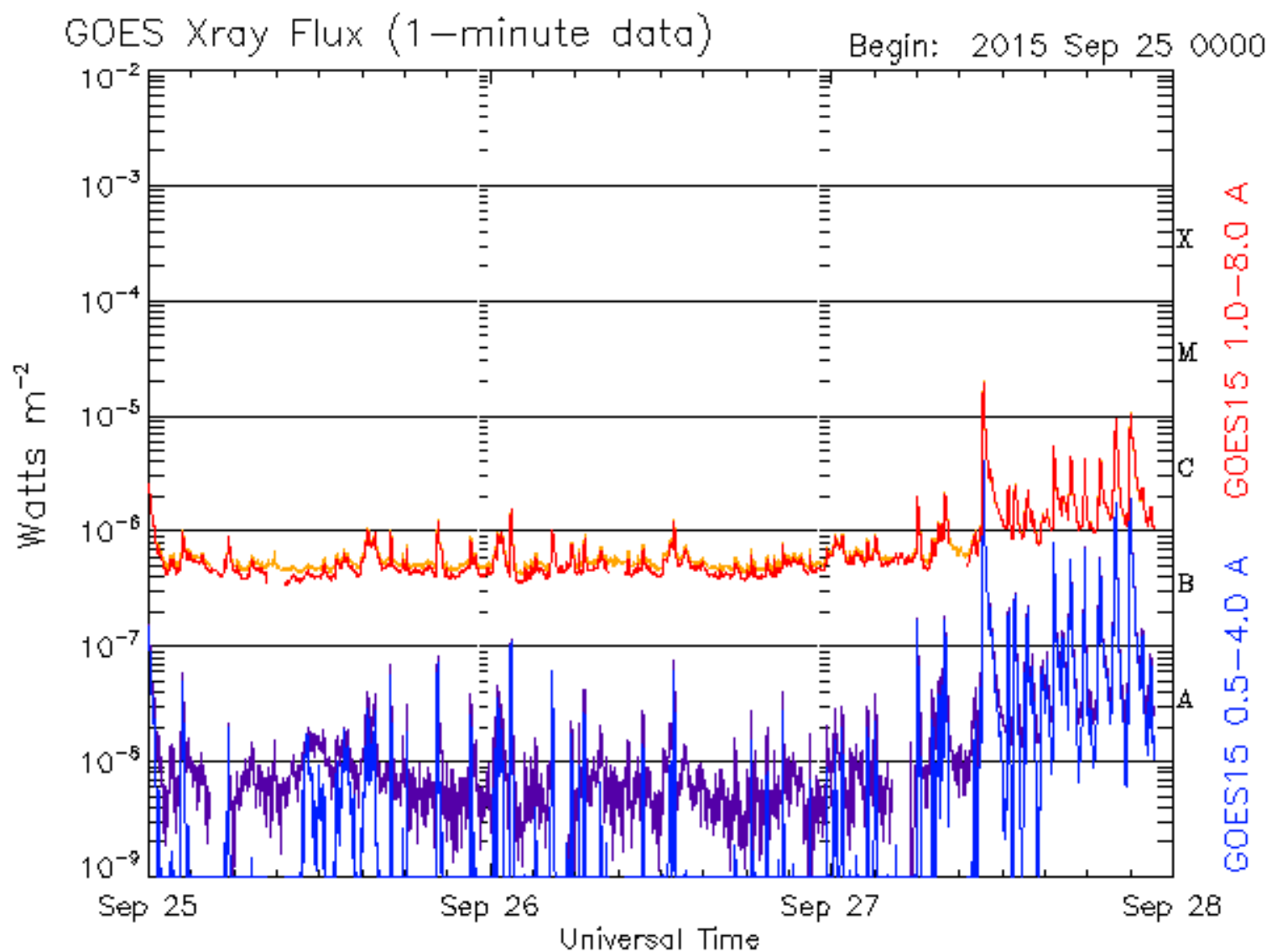
Armato di buona volontà, nonostante il meteo incerto, ho effettuato riprese solari H β e H α nei giorni 19,21, 22 , 24, 25 e 27 settembre. Purtroppo le immagini del 19, 21 e 25 settembre erano inutilizzabili o non definite a causa di velature o nuvolosità del cielo, quindi ho inviato al database del progetto solo le immagini acquisite il 22, 24 e 27 settembre.

Ho a tal fine acquisito video di 300 sec (come consigliato nel tutorial del progetto) distanziati tra loro di 10-15 sec in gruppi di 4-6 video, a seconda del grado di interesse e se si scorgesse qualcosa di interessante nel target ,quasi sempre l'AR 12422, regione attiva che si è sviluppata nel corso della campagna e che ha originato numerosi flares, purtroppo quasi tutti fuori delle finestre osservative di IRIS. Ho anche registrato video di 300 sec per la dark, a tele tappato, e per l'offset, mentre per la flat è stato piuttosto problematico acquisire buone immagini: ho comunque usato (vedi foto sotto), un semplice fazzoletto di carta su un supporto, ma l'integrazione è stata di ben 13 sec per 10 frames per ottenere risultati accettabili. La stessa integrazione è stata effettuata per la dark della flat. Detti video sono stati trasformati in immagini con Registax 5.1 facendo la procedura di allineamento e stacking senza alcuna forma di elaborazione, quindi salvate in formato TIFF, lo stesso per dark, offset, flat e dark della flat. La calibrazione delle immagini TIFF raw è stata eseguita con Astroart.



Il semplice dispositivo per le flat solari in luce Ha: un fazzoletto di carta montato su un tubo a sua volta inserito nel paraluce del TAL

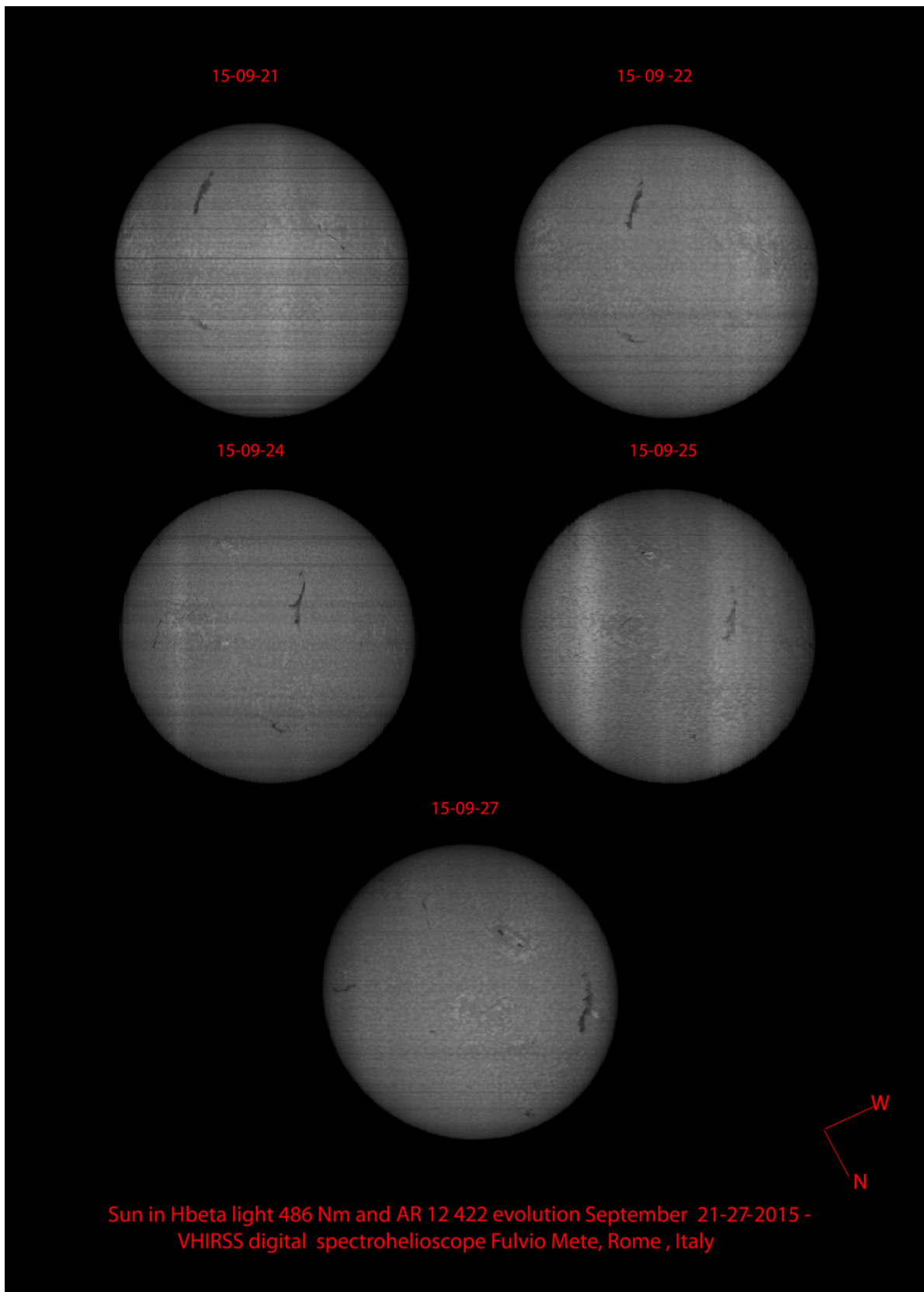
Durante le osservazioni lo stato di attività della regione attiva è stato controllato con le immagini del flusso di raggi X fornito dal satellite GOES
<http://www.swpc.noaa.gov/products/goes-x-ray-flux>



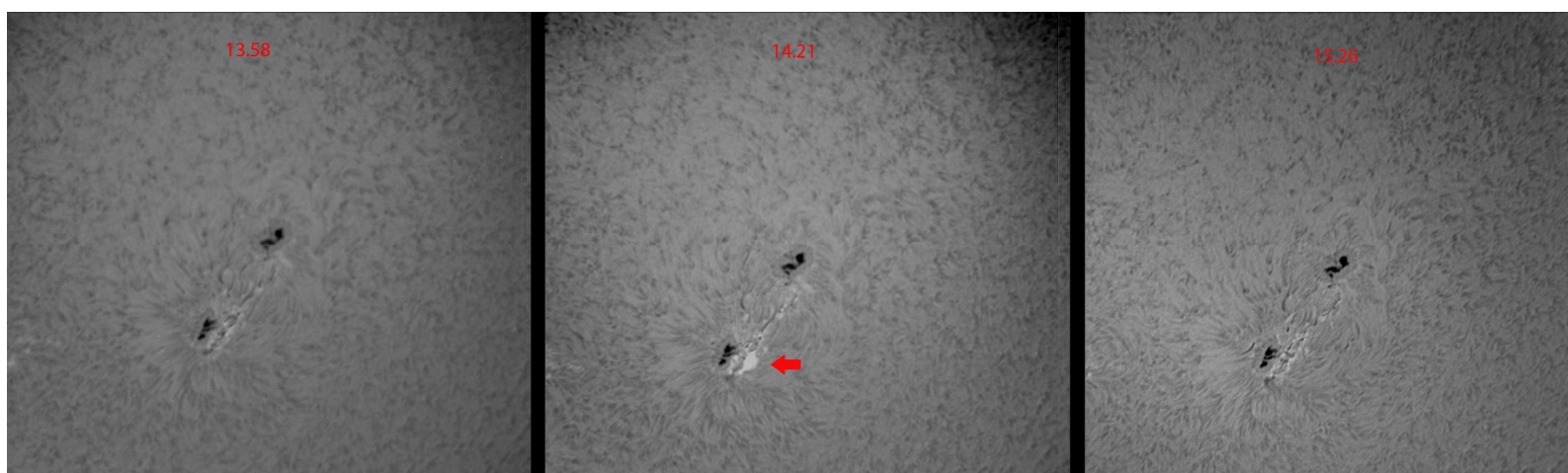
Updated 2015 Sep 27 22:45:11 UTC

NOAA/SWPC Boulder, CO

Qui di seguito una immagine composta delle osservazioni in luce H beta del 21, 22, 24, 25 e 27 settembre che mostrano l'incremento di attività nella AR 12422, in alto al centro:



Qui, invece, una composizione del flare osservato in Luce H alpha col PST modificato sulla AR 12422 il 27 settembre 2015, alle ore 14,21, praticamente quasi a chiusura di campagna:



Gli Strumenti amatoriali per l'Osservazione solare

1) Osservazione della Fotosfera solare in luce bianca: *la fotosfera, come si è visto, è la superficie del sole, la zona nella quale sono visibili le macchie , ovvero le zone a minore temperatura caratterizzate da un forte campo magnetico e la granulazione, vale a dire colonne di plasma che salgono e discendono in continuazione sulla superficie solare. Prima di accennare a tali mezzi di osservazione, solo alcuni dei quali possono interessare il neofita, mi sembra opportuno porre l'accento su un punto fondamentale:*

L'osservazione solare in luce bianca va fatta con la massima attenzione utilizzando soltanto filtri a tutta apertura da anteporre all'obiettivo (nel caso di rifrattori , SC etc) ovvero all'ingresso del tubo per i newton :tali filtri impediscono che il calore entri all'interno del tubo e rispondono ai necessari criteri di sicurezza per la vista. NON USARE MAI FILTRI CHE SI AVVITANO ALL'OCULARE il calore eccessivo in vicinanza del piano focale ne potrebbe causare la rottura, con gravi danni per l'occhio (o gli occhi) dell'osservatore.

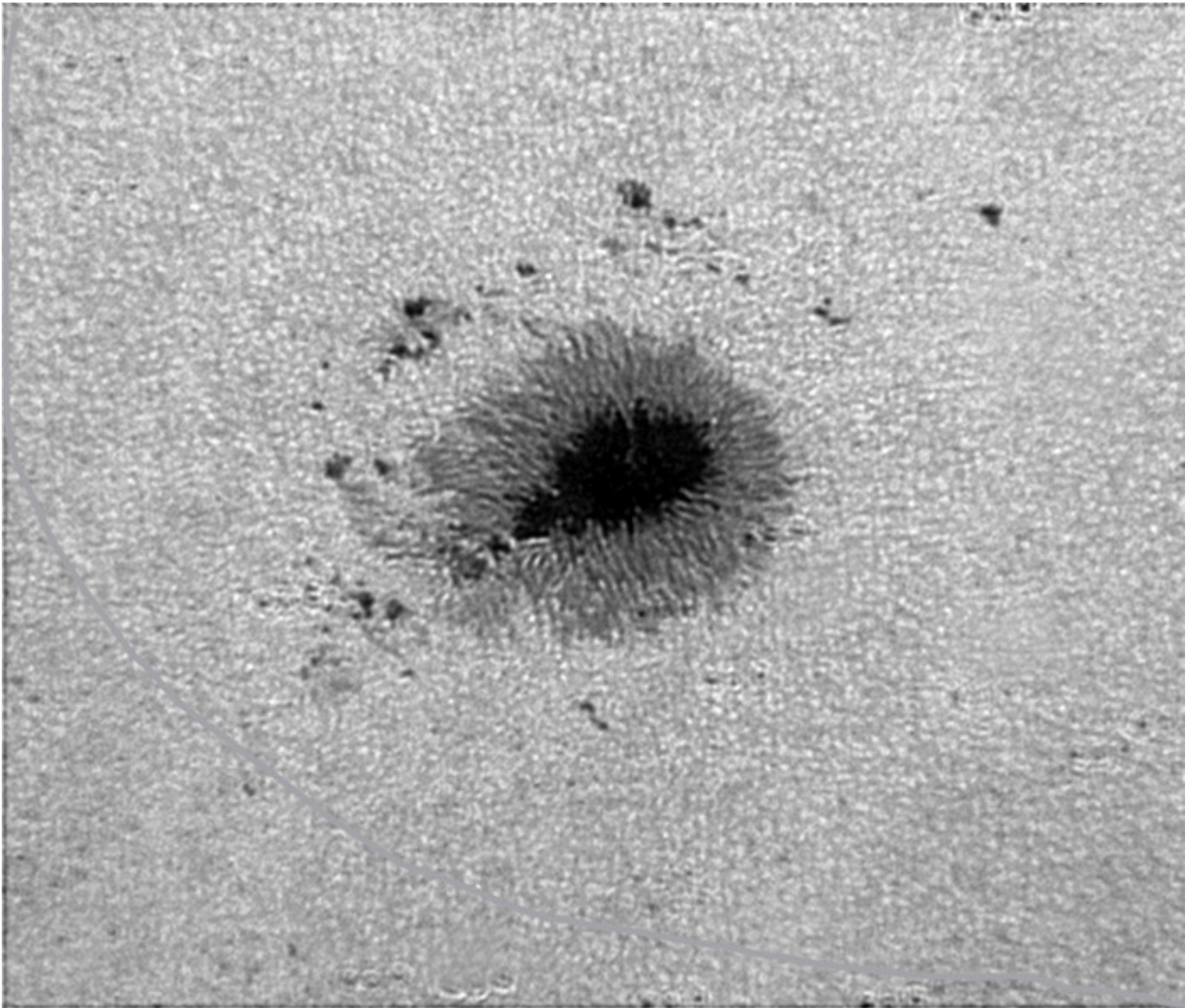
-

I filtri solari : i filtri con miglior rapporto qualità/prezzo sono attualmente quelli consistenti in una sottilissima sfoglia di materiale plastico semialuminato, che fa passare una piccolissima parte della luce solare nella zona del visibile e che non risulta dannosa per gli occhi. Tale materiale è detto "Astrosolar", prodotta dalla ditta tedesca Baader Planetarium e viene normalmente messo in vendita in fogli formato A4 o 100 cm X 50. La gradazione 5.0 è quella per uso visuale, che riduce ad 1/100.000 la luce solare, mentre la 3.8 è quella per astrofotografia, che fa passare circa 1/6300 della luce e non va usata per osservare visualmente, in quanto trasmette anche radiazione UV ed IR. Tali filtri sono adatti per osservare la fotosfera solare, ovvero la superficie del sole, dove si formano le macchie. Con un tale foglio di polimero ed un semplice cartoncino da adattare al tubo del telescopio si realizza facilmente un ottimo filtro solare per l'osservazione visuale o la fotografia.





Un filtro ottenuto con Astrosolar e cartoncino nero: nonostante l'apparenza un po' strana, funziona egregiamente. Tuttavia è opportuno, dopo un periodo d'uso più o meno lungo, controllare in trasparenza su una sorgente luminosa se esistono dei punti, o più punti, in cui lo stato protettivo è venuto meno e fa passare la luce: in tal caso va sostituito.

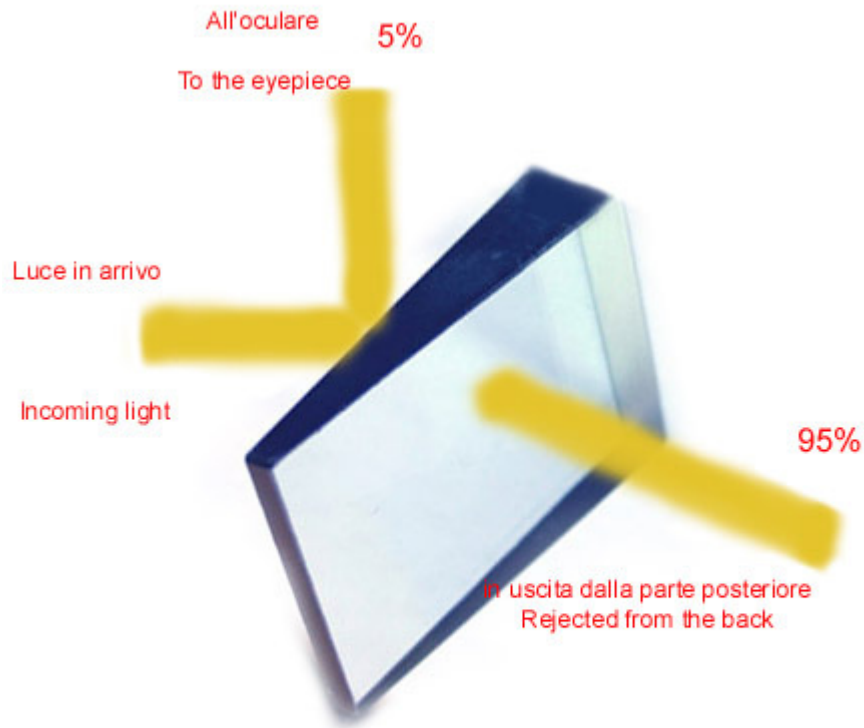


Un'immagine della fotosfera solare con una grossa macchia ottenuta con un filtro di Astrosolar 3,8 ed un telescopio Maksutov_Cassegrain Intes da 180 mm.

L'Osservazione della fotosfera solare con un Prisma di Herschel

L'osservazione del sole in luce bianca (fotosfera) può essere anche effettuata con un prisma speciale, detto prisma di Herschel, che in pratica è un prisma rettangolare di alcuni mm di spessore, una delle cui a facce è inclinata di circa 10° rispetto all'altra, in modo da deviare la maggior parte del calore e della luce solare (ca il 95%) verso l'esterno mentre solo il 5% raggiunge l'oculare o la camera.

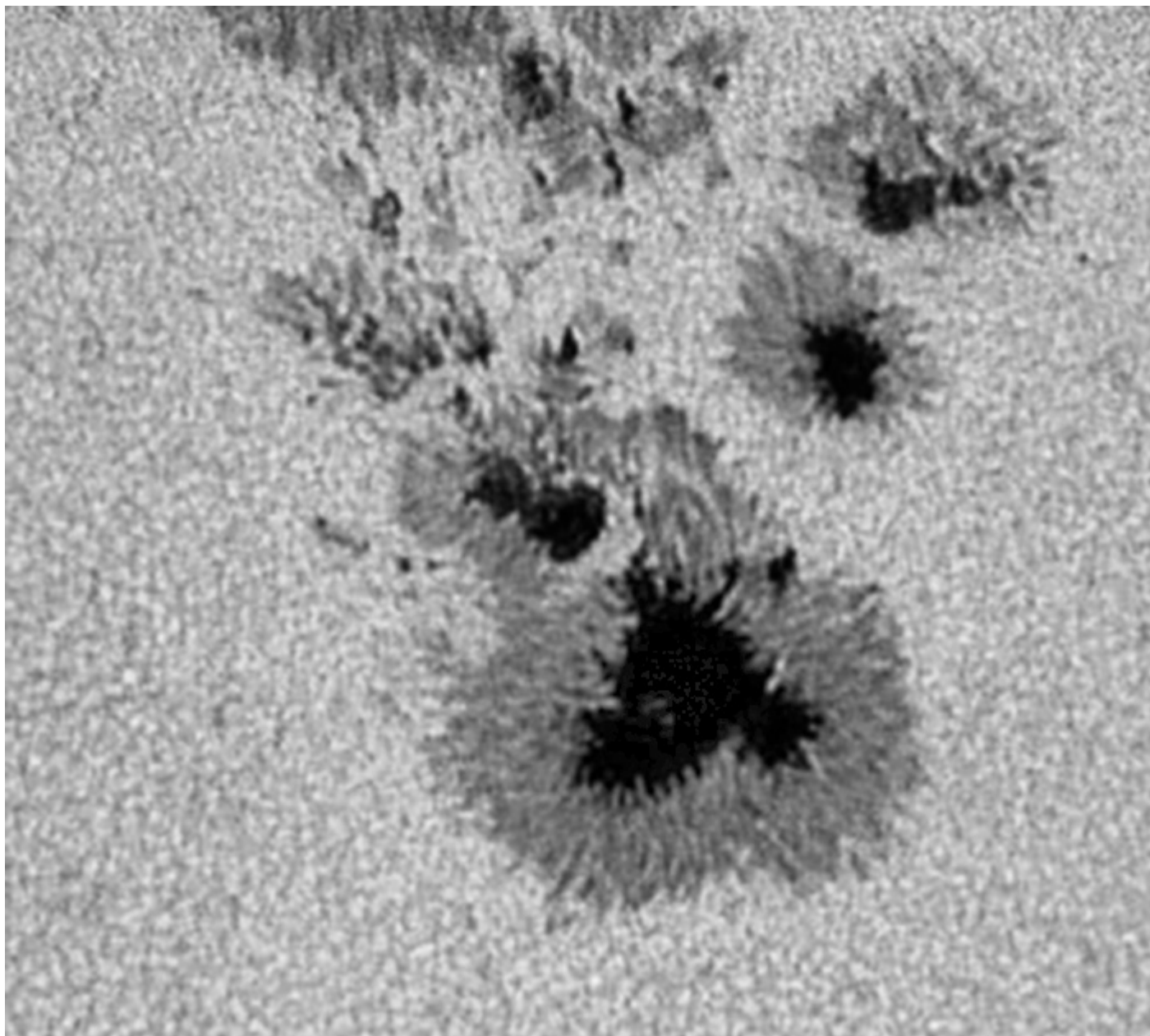
Tale quantità di luce è tuttavia ancora eccessiva e pericolosa per gli occhi, e va quindi ulteriormente filtrata con filtri appositi, ND, Ir cut, etc. E' bene precisare che il prisma va usato esclusivamente con strumenti a lenti (rifrattori) con il solo obiettivo anteriore senza gruppi di lenti posteriori o spianatori, in quanto il calore che entra nello strumento prima di raggiungere il prisma potrebbe causare gravi danni alla struttura degli strumenti compositi e sarebbe, oltre a ciò, scomodo da usare in altri (newton). Non va quindi mai usato con catadiottrici, il cui specchio primario è un f 2 o 2,5 i al massimo 3, e quindi concentra una quantità notevolissima di luce e calore sullo specchio secondario e sul suo supporto, che rischierebbe seri danni. Eventuali filtri aggiuntivi, ND, IRcut, od altri , vanno sempre posti dopo il prisma, nel barilotto portaoculari e mai prima di questo, pena la loro rottura per il calore.



Il prisma somiglia ad un deviatore stellare a 90 ° e si trova in commercio nelle configurazioni da 31,8 mm o da 50,8 (2"). Di seguito è riportato uno da 31,8. Si osservano o filtri ND per l'attenuazione ulteriore della luminosità dell'immagine.

La luminosità può anche essere vantaggiosamente diminuita con l'uso di filtri interferenziali a banda stretta come il Continuum della Baader Planetarium, centrato nella regione verde dello spettro solare, a 532 nm, che contribuisce anche ad esaltare il contrasto della visione o delle immagini.





Un'immagine di un gruppo di macchie solari ottenuta dall'autore con un telescopio rifrattore acromatico Zeiss 110/750 ed un prisma di Herschel commerciale, più filtri ND.

2) Osservazione della Cromosfera solare

I filtri per l'osservazione della cromosfera solare, ossia dell'atmosfera solare al di sopra della fotosfera, sono piuttosto costosi. Essi hanno una banda passante molto stretta, generalmente inferiore ad 1Å.

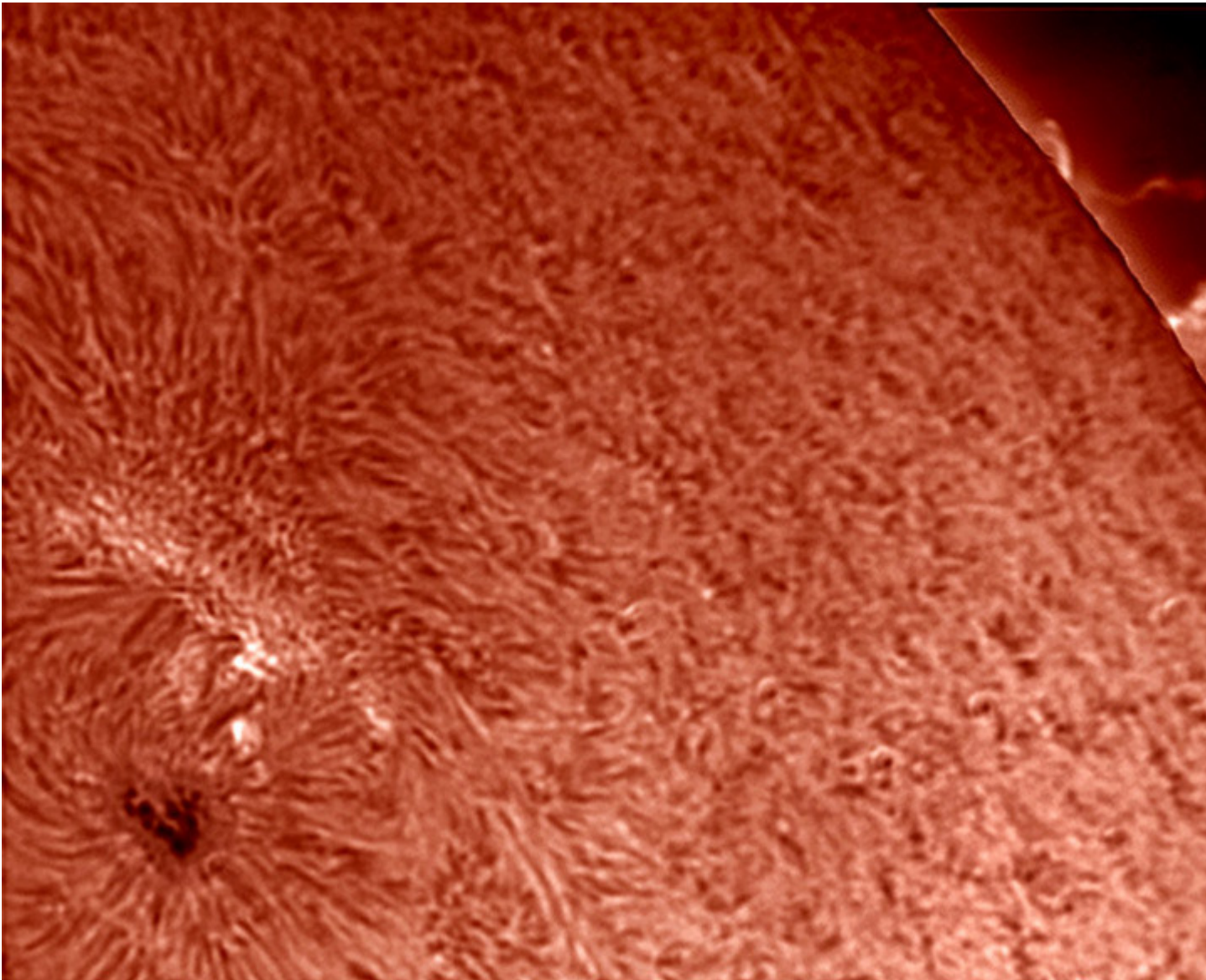
L'osservazione della cromosfera solare della sottile striscia di gas che si estende, come si è detto, per circa 2.300 Km dalla superficie del sole, che è dominio dell'Idrogeno e del Calcio ionizzato, ed è sede di alcuni fenomeni appariscenti, quali protuberanze, spicule, filamenti, regioni attive, non attrae in genere subito il neofita, che preferisce l'osservazione in luce bianca delle macchie solari, più facile, immediata, e poco costosa. Negli ultimi anni, tuttavia, essa ha avuto grande diffusione, dovuta alla eterogeneità dei fenomeni osservabili. L'osservazione cromosferica richiede tuttavia, a differenza di quella in luce bianca, una strumentazione molto più sofisticata e costosa, dato che la finestra di osservazione dell'Idrogeno alfa a 6562.8 Å, nel rosso profondo (l'elemento maggiormente presente in cromosfera) misura circa 1 Angstrom (1 milionesimo di mm). Per confronto, i filtri H α che si usano per il cielo profondo hanno una banda passante mediamente di 120 o 60 Å, ossia 120 o 60 volte più ampia. I filtri per l'osservazione solare in H α sono quindi molto costosi, e vanno da un minimo di 800 ad un massimo di svariate migliaia di euro. Inoltre, più diminuisce la banda passante, più sono più contrastati ed osservabili i particolari sul disco, più aumentano le difficoltà di realizzazione ed il prezzo. Nell'immagine sottostante è mostrato un filtro della ditta americana Daystar (fonte Daystarfilters) con un sofisticato sistema di termostatazione, che garantisce un miglior centraggio sulla riga H α : le bande passanti variano da 0,8 Å a 0,3 Å ed i prezzi da 2850 a 9000 \$.



I TELESCOPI SOLARI

Esistono anche telescopi solari, ovvero piccoli rifrattori costituiti da un filtro preliminare di selezione di banda e rigetto della radiazione IR e UV (ERF), un filtro di risonanza di banda, detto Etalon, che produce una serie di picchi nel dominio selezionato, ed un ulteriore filtro che opera l'isolamento del picco corrispondente al centro della riga osservata (in genere l'Idrogeno alfa). Questi sono prodotti in massima parte dalle ditte americane Coronado, Lunt, e Daystar ed hanno prezzi piuttosto elevati.





I principali particolari osservabili in luce Ha con un filtro o telescopio solare : le brillanti regioni attive, la supergranulazione , le protuberanze sul bordo.(foto dell'autore).

Esistono tuttavia alcuni piccoli telescopi solari, prodotti dalle ditte americane Coronado e Lunt, che ad un prezzo particolarmente abbordabile (tra i 650 e 1000 €) danno la possibilità di accostarsi a questa affascinante branca dell'osservazione solare.Essi sono il Coronado PST ed il Lunt 35 THA.

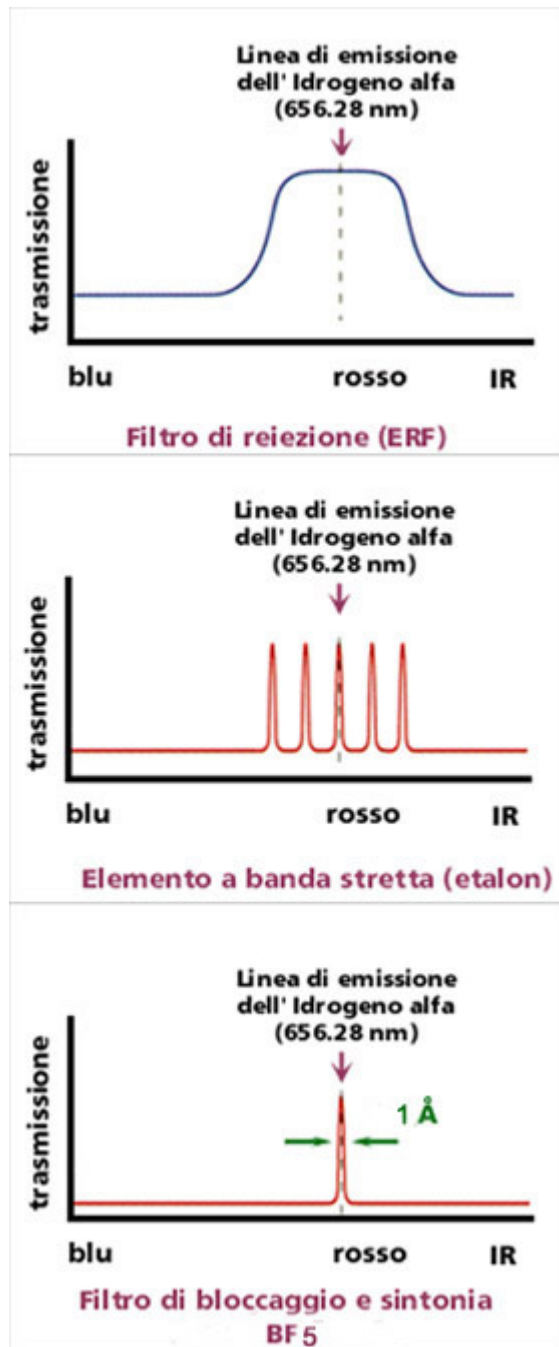
Il primo, il Coronado PST, quello entrato per primo sul mercato, offre una banda passante non superiore a 1 Å, ovvero quella che permette di osservare sia le protuberanze che i particolari sul disco.



Il Coronado PST

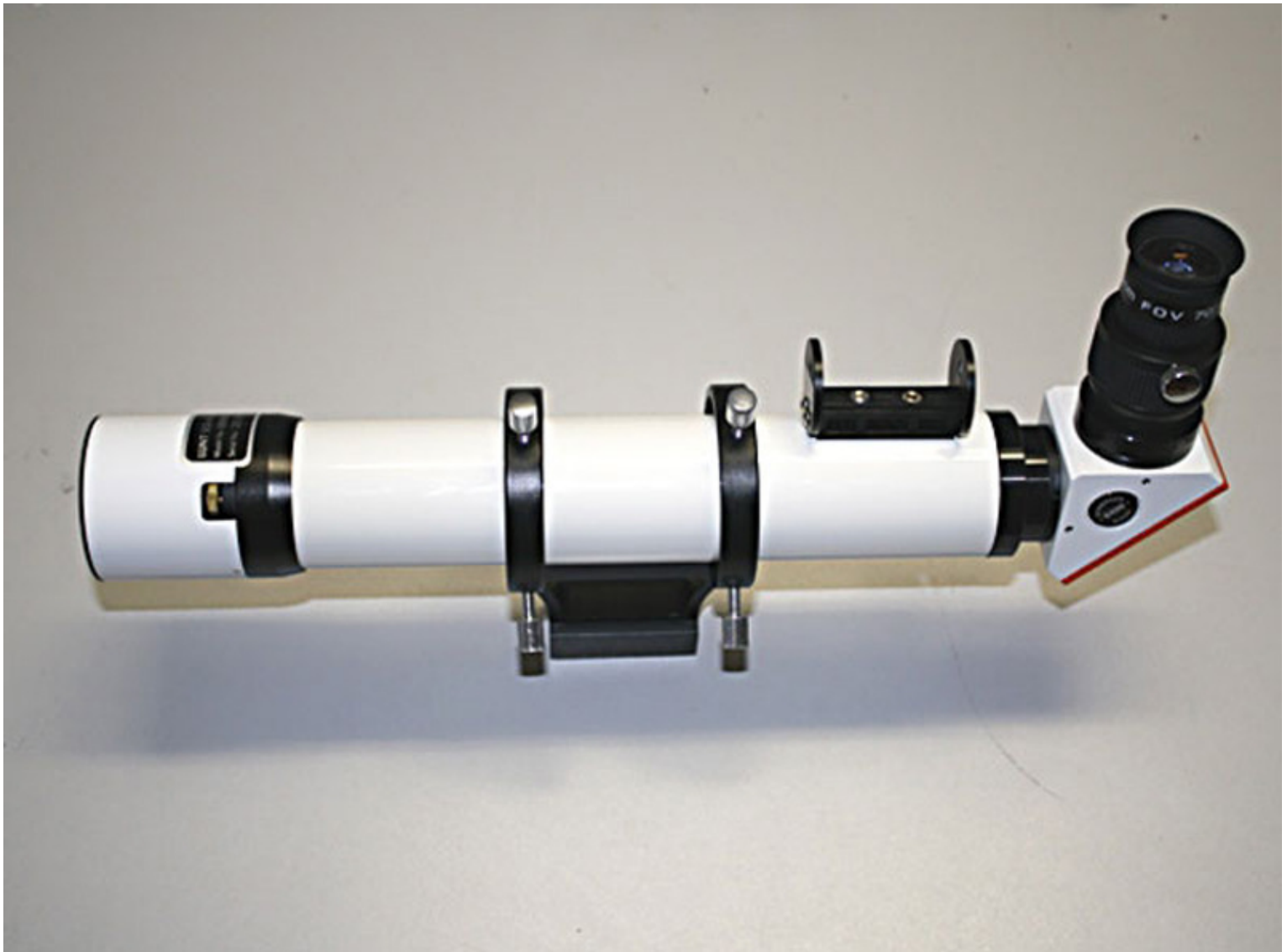


Layout del PST (il primo tipo posto in commercio), un obiettivo di 40 mm di diametro e 400 mm di focale, con un ERF (Energy Rejection Filter) fa arrivare la luce solare su un filtro particolare, detto Etalon posto a 200 mm dallo stesso. L'Etalon produce un sistema di picchi di risonanza, uno dei quali, quello centrato sulla riga H Alfa, viene poi selezionato da un altro piccolo filtro detto BF.

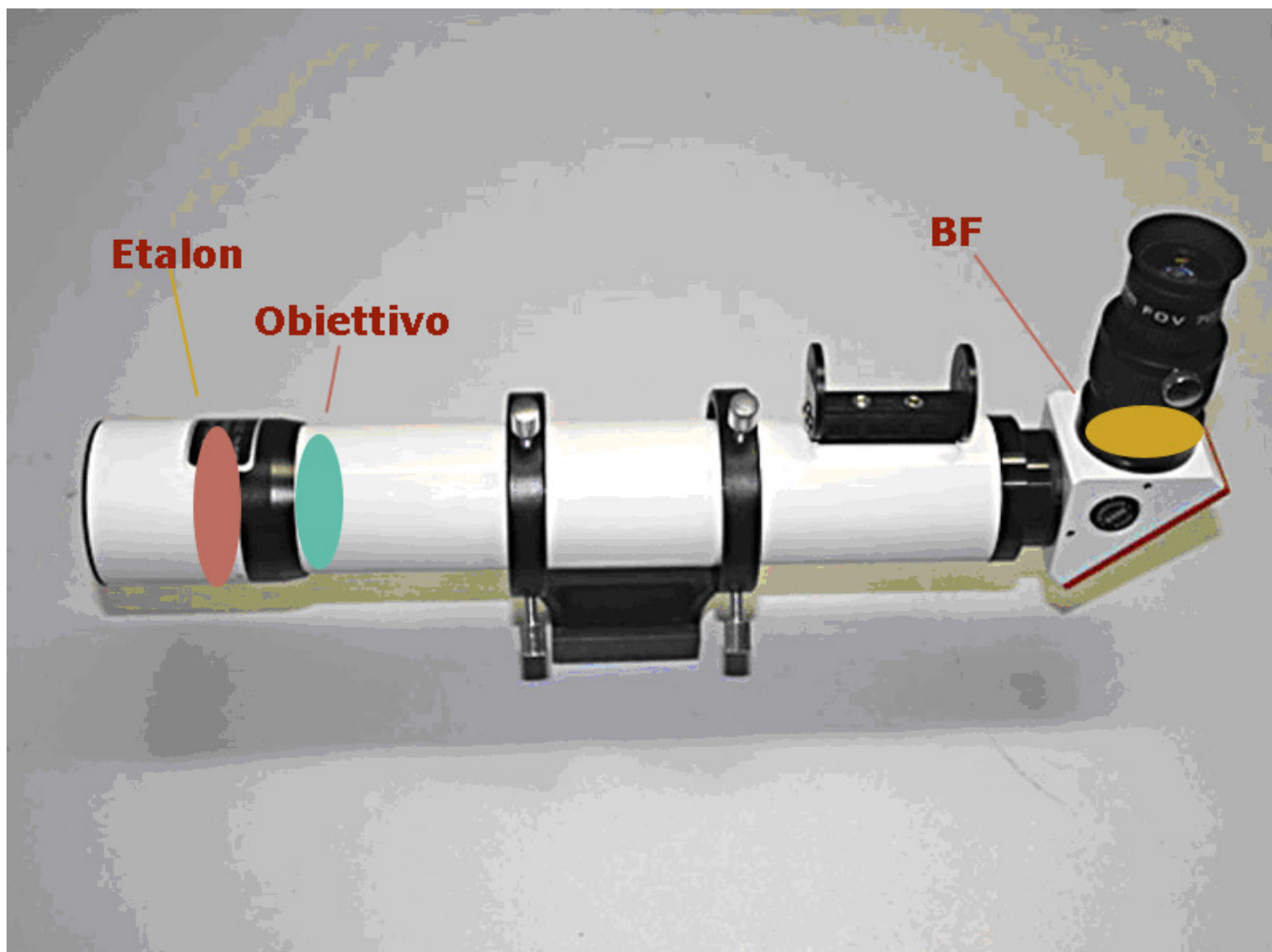


Il sistema di funzionamento del PST e di molti altri telescopi solari.

Il secondo, il Lunt 35 THA, ha una banda inferiore a quella del PST (ca 0,75A) che permette un miglior contrasto e visibilità dei particolari sul disco a spese di una minore visibilità delle protuberanze sul bordo.



Il Lunt 35 THA



Layout del Lunt 35: come si osserva, il'Etalon è posto stavolta davanti all'obiettivo, e non dietro di questo, nel fascio ottico convergente, come nel PST. Ma, che cos'è l'Etalon?

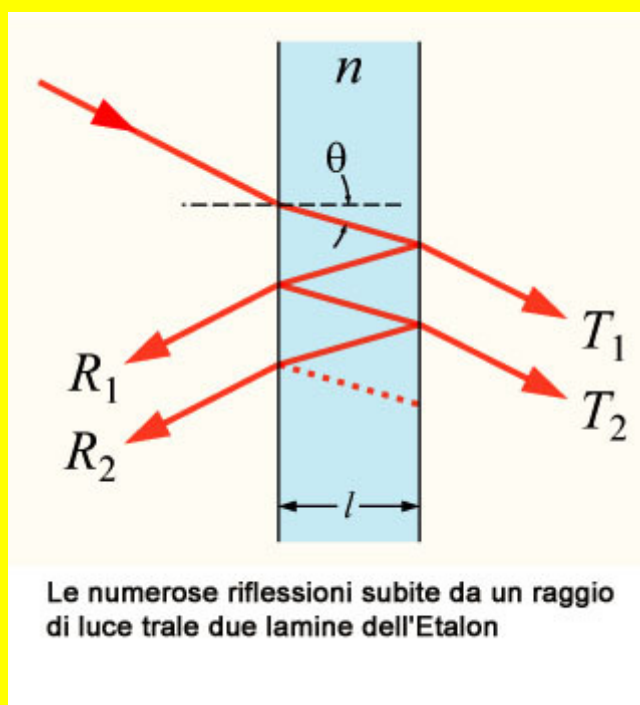
'Etalon è un interferometro nella sua forma più semplice, ed è proprio questa sua semplicità che lo rende particolarmente utile in una vasta serie di applicazioni. Nel tipo di Etalon più diffuso e utile per la costruzione di filtri interferenziali, quello piano, due lamine semiriflettenti vengono poste l'una di fronte all'altra: entrambe devono rispondere al requisito della massima pianeità (in genere circa $1/100$ di λ) e del perfetto parallelismo reciproco. La sua proprietà è di trasformare un raggio incidente, che subisce numerose riflessioni tra le lamine, in una serie di picchi di trasmissione uniformemente spazati.

Le principali caratteristiche dello strumento sono il range spettrale (FSR) e la Finesse (F). Il primo è la distanza tra i picchi di trasmissione ed è funzione del cammino ottico della radiazione tra le lamine semiriflettenti. La seconda è invece la misura della larghezza dei picchi di trasmissione e, per un fascio collimato, è funzione diretta della riflettività delle lamine usate: più alta è quest'ultima, più stretta è la distanza tra i lati dei picchi generati.

Etalon usati come filtri possono essere solidi o spazati in aria. In questi ultimi tra le lamine sono interposti sottilissimi spaziatori, di pianeità tale da garantire il più possibile perfetto parallelismo tra le lamine semiriflettenti.

La tecnica costruttiva fondamentale importanza assume il trattamento superficiale delle lamine ed il deposito

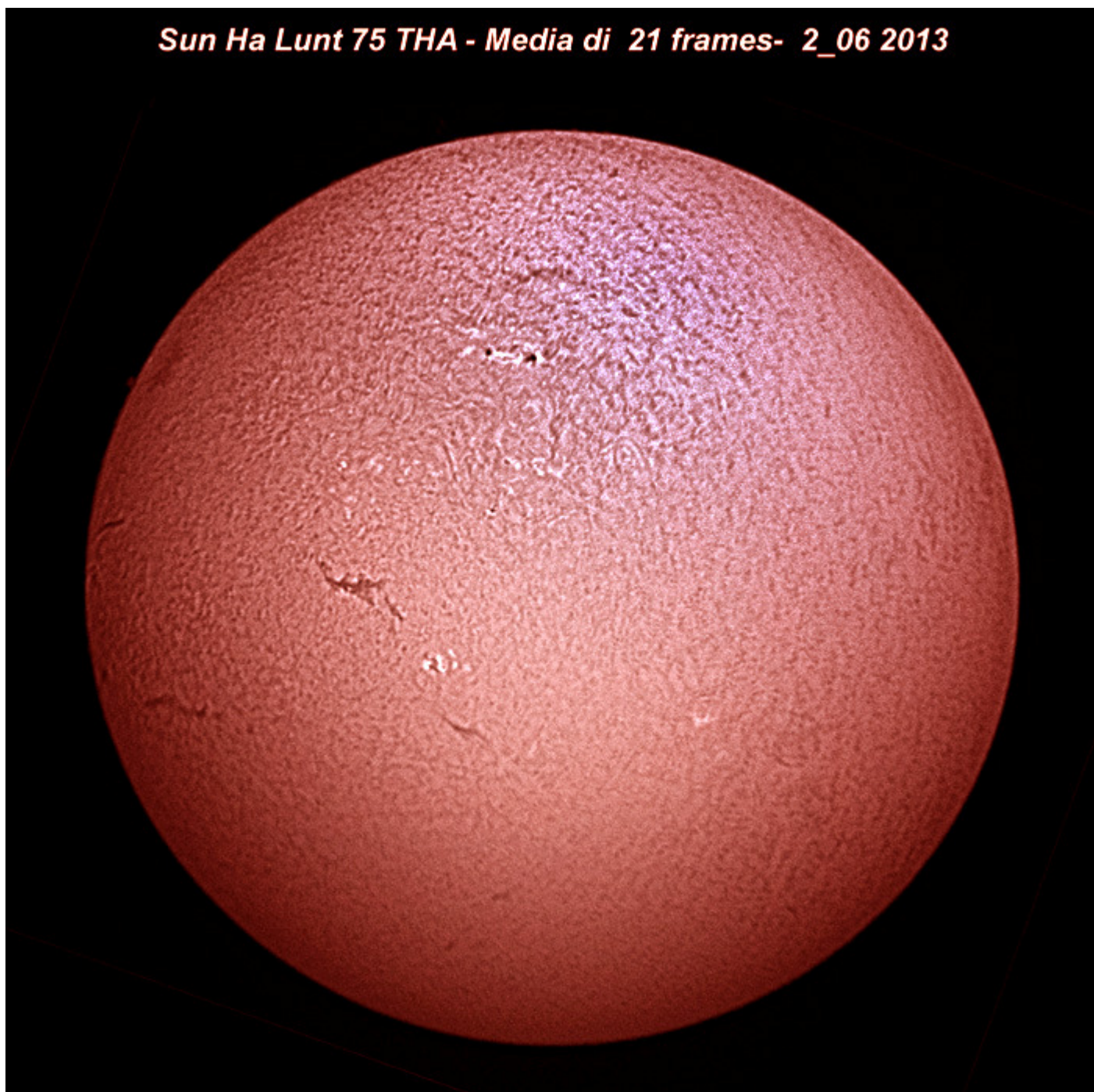
lo strato semiriflettente, in genere dielettrico per garantire il minore assorbimento possibile: errori in que fase possono causare alterazioni nella planeità delle lamine e rendere inusabile l'etalon.



Se si fa passare un fascio parallelo di luce bianca attraverso un etalon, la maggior parte dell'energia verrà riflessa dagli strati riflettenti ma, se la distanza tra questi ha uno spessore esattamente uguale a un multiplo della metà della lunghezza d'onda della luce incidente, quest'ultima attraverserà totalmente il sistema. L'Etalon genera quindi un insieme di picchi di radiazione distribuita nello spettro, visibile e non. I filtri Coronado sono progettati in modo tale che uno di questi picchi di trasmissione si verifichi in corrispondenza di una delle righe significative dello spettro, come quella dell'Idrogeno alfa, avendo cura che il picco di trasmissione dell'etalon non sia più largo della riga spettrale desiderata e vi sia la presenza di un filtro ausiliario che elimini tutti gli altri picchi di trasmissione. In questo modo si ottiene un sistema che fa passare solo la luce dell'Idrogeno alfa o di altra riga di interesse. Gli etalon, come si è detto, sono componenti ottici fra i più critici che si possano realizzare. Per isolare la sola lunghezza d'onda desiderata, le lastre su cui vengono depositati i trattamenti riflettenti e le distanze parallele fra di esse devono essere realizzati con tolleranze inferiori a 1/100 l

(lunghezza d'onda). Vale a dire che nessuna parte della struttura può avere imperfezioni o scostamenti dal parallelismo superiori a 0.000005 mm.

Immagini solari coi predetti strumenti:



Un'immagine solare ottenuta col Lunt 35 THA dall'autore

La Spettroelioscopia

Gli Spettroelioscopi professionali

La Spettroelioscopia può essere definita come l'osservazione e la ripresa fotografica del sole nelle varie lunghezze d'onda dello spettro, e quindi in ciascuno degli elementi che compongono la luce solare

Lo spettroelioscopio ,per l'osservazione del sole in varie lunghezze d'onda fu inventato indipendentemente da George Ellery Hale (1868-1938) e Henri-Alexandre Deslandres (1853-1948) nel 1890/1891. Robert Reynolds McMath /1891-1962) estese la sua funzionalità (1932) per riprendere foto e filmati del sole.

A G.E.Hale va il merito di una completa implementazione dello spettroelioscopio nel 1924-1929. Egli fu uno dei grandi astronomi americani, direttore dell'Osservatorio di Monte Wilson sino al 1923 e contribuì alla costruzione dell'Osservatorio di Monte Palomar.



Hale disegnò ,infatti, un grosso rifrattore orizzontale, lo Snow telescope che aveva uno specchio di 60 cm e, corredato da uno spettroscopio ad alta dispersione fu testato nell' Ottobre 1903 all'Osservatorio di Yerkes and montato poi a Mount Wilson nel 1905 per le applicazioni di spettroelioscopia .Lo spettroelioscopio di Hale era in pratica di uno spettroscopio, alimentato da un telescopio che inviava un'immagine del disco solare di adeguate dimensioni sulla fenditura di ingresso del medesimo,la luce solare diffratta veniva poi selezionata nella riga di interesse da una seconda fenditura , detta di uscita. Le due fenditure,entrambe oscillanti con un comando motorizzato, agivano anche da sintetizzatori d'immagine.L' oscillazione ad una data velocità consentiva di formare un'immagine del disco solare nella lunghezza d'onda corrispondente alla riga esaminata, che veniva osservata all'oculare o ripresa con una fotocamera. Hale provò tuttavia anche un altro sistema, quello delle fenditure multiple rotanti su un sistema eccentrico ed un sistema di prismi rotanti, detti di Anderson.

Nell'immagine che segue è riportato il layout di una versione ridotta e semplificata dello spettroelioscopio di Hale, così come illustrato nel suo articolo sull' "Astrophysical Journal" del Dicembre 1929.

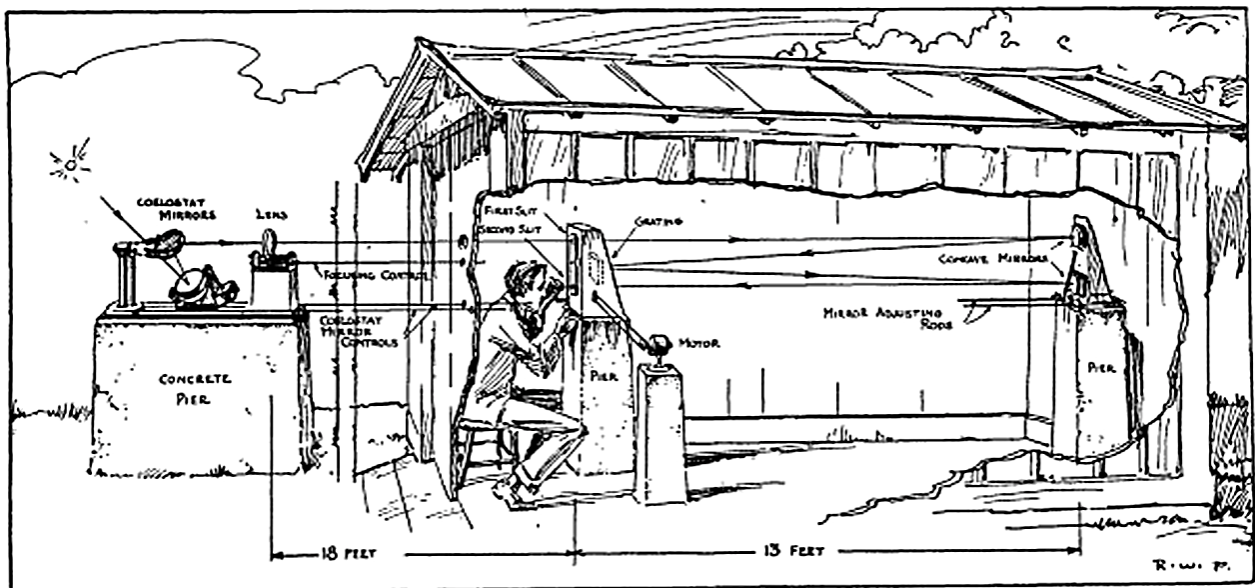


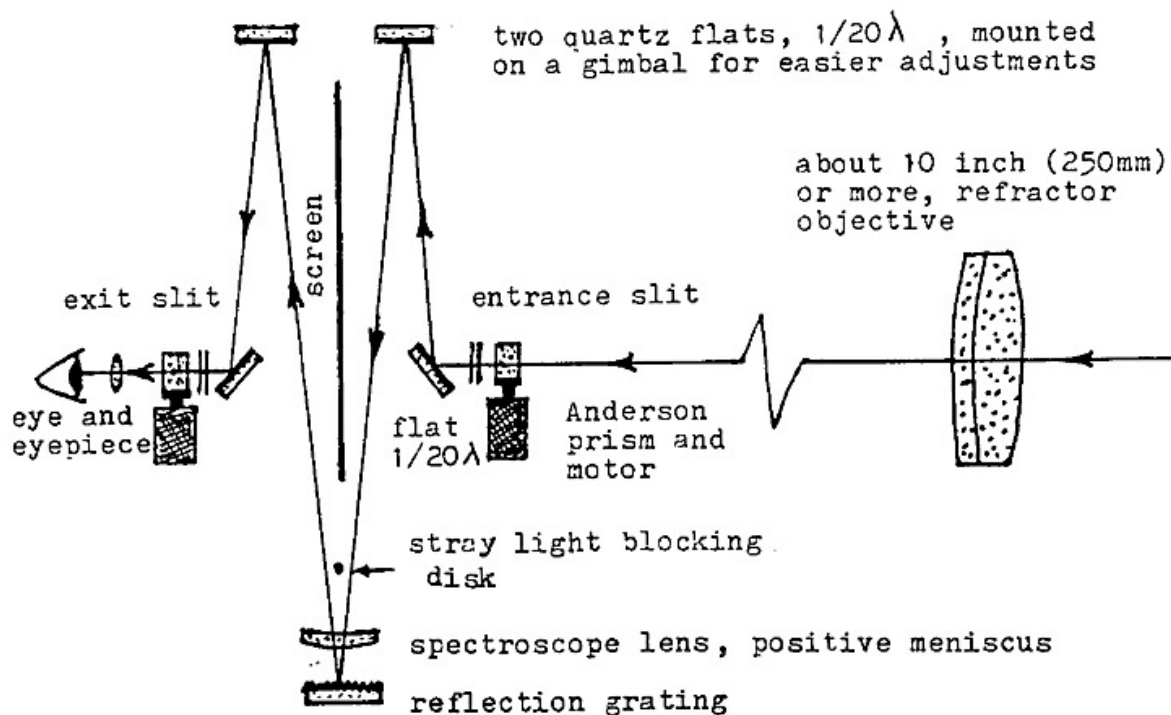
FIG. 1.—General arrangement of coelostat telescope and spectroheliograph

Nonostante la compattezza, lo strumento aveva tuttavia una lunghezza di circa 40 piedi (circa 13 metri) e non era quindi esattamente portatile, così come oggi concepiamo tale aggettivo.

La complessità di tale strumento ha fatto sì che si contino sulle dita di una mano gli amatori che si sono cimentati nella sua costruzione.

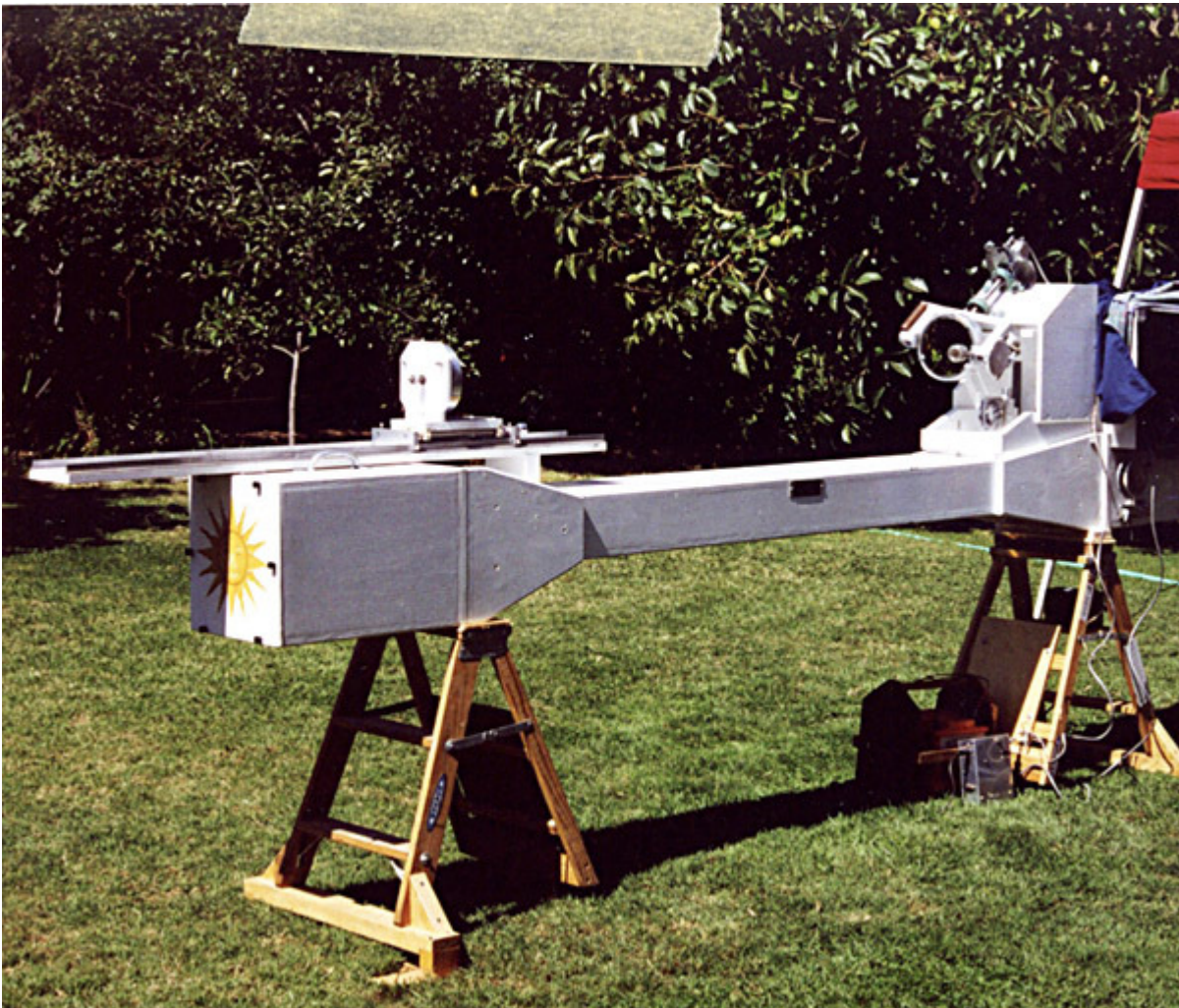
Qui di seguito è riportato uno schema di spettroelioscopio amatoriale del noto autocostruttore Frederick Veio. Come si può osservare, Veio ha utilizzato come sintetizzatori d'immagine dei prismi rotanti, detti di Anderson.

Si tratta certamente di strumenti che, seppur eccellenti, sono molto complessi da autocostruire specie per la loro parte elettronica e meccanica, in primo luogo i sintetizzatori, dei quali esistono vari tipi, e per le loro dimensioni, dato che è necessario utilizzare focali elevate, sia nello spettroscopio che nel telescopio, per ottenere sufficienti livelli di risoluzione nei particolari sul disco solare.





Prismi di Anderson



Spettroelioscopio amatoriale autocostruito da F. Veio, astrofilo Californiano. Notare le cospicue dimensioni dello strumento, che è alimentato da un celostata. (Fonte: F. Veio)

E' bene sottolineare che l'autocostruzione di strumenti del genere, piuttosto sofisticati, non è alla portata di tutti, tant'è che si contano sulle dita di una mano, o quasi, a livello planetario, gli autocostruttori che si sono cimentati con successo nella loro costruzione. Il dilagare, poi, negli ultimi tempi di eccellenti filtri a banda stretta centrati sulle righe H alfa e Ca K, alcuni dei quali anche a costo contenuto, ha tolto smalto e motivazione alla costruzione di questo complesso strumento.

C'è stato, tuttavia, negli ultimi anni, con la diffusione di programmi informatici per astronomia, alcuni dei quali freeware come IRIS di C. Buil e delle camere di ripresa CCD, la possibilità di effettuare via software il compito oneroso e meccanicamente complesso svolto dai sintetizzatori: l'allineamento di singole colonne di 1 pixel centrate su una riga spettrale di interesse sino a formare un'immagine del disco solare nell'elemento corrispondente alla riga stessa. La procedura è quanto mai semplice, e presuppone soltanto il possesso di uno spettroscopio di risoluzione adeguata ed un cannocchiale (od uno specchio) che invia un'immagine del disco solare sulla fenditura d'ingresso dello strumento, il tutto su una montatura equatoriale non necessariamente motorizzata, e l'utilizzo di una semplice telecamera di ripresa.

Spettroeliografi professionali terrestri ancora in servizio: lo Spettroeliografo di Meudon a Parigi.

Lo spettroeliografo di Meudon, con un obiettivo di ben 240mm e 4000 mm di focale, dà un'immagine solare di ben 86 mm sul piano focale ed una banda passante dello spettroscopio di 0.25 Å in H α . La sua finalità è di ottenere immagini dell'intero disco del sole nelle varie lunghezze d'onda.

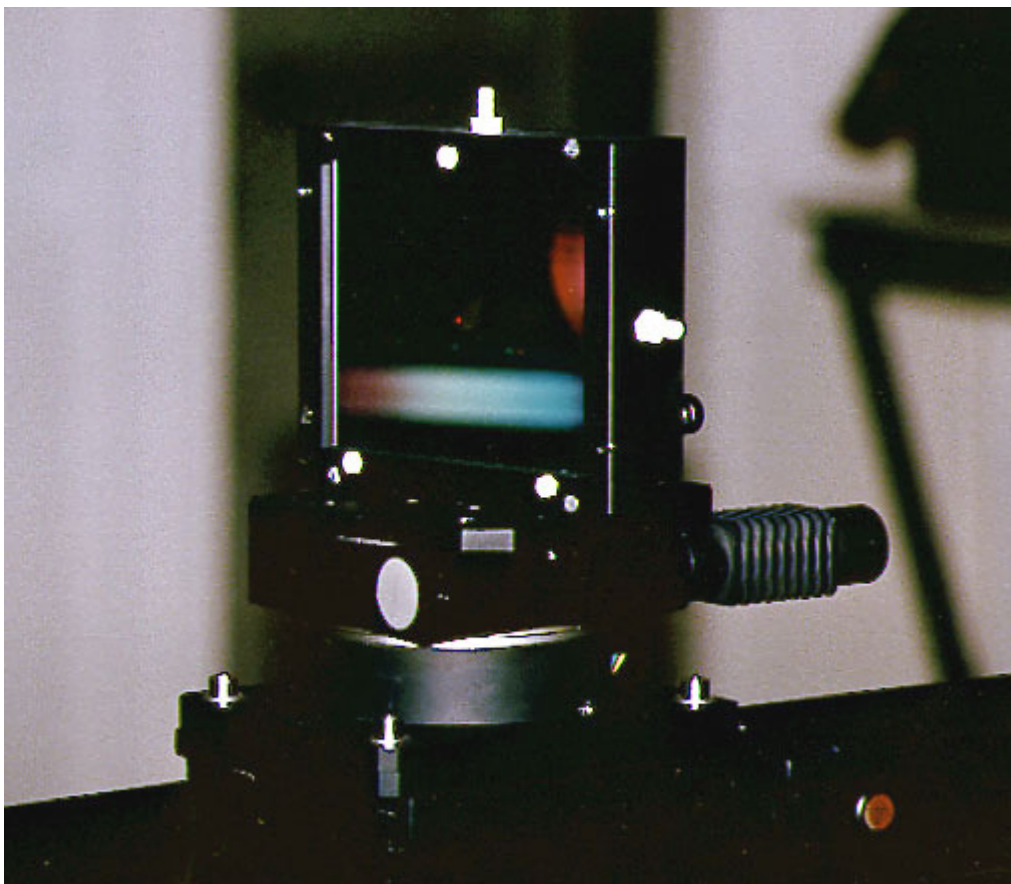


Il celostata che alimenta l'obiettivo da 240 mm e l'obiettivo stesso





Lo spettrografo nella sala di controllo. Questo dà una dispersione di 3.33 Å/mm nel 3° ordine in H alpha (equivalente a circa 0.03 Å/pixel con una camera con pixels da 10 micron



Il reticolo di diffrazione, di grandi dimensioni, ma di di sole 300 l/mm

La spettroelioscopia amatoriale digitale

Si è prima accennato agli strumenti professionali di spettroeliografia solare; ora, la recente tecnologia elettronica ed informatica ha permesso di realizzare spettroeliografi amatoriali a basso costo e di costruzione accessibile anche a coloro che non possiedono un'officina meccanica.

Gli ultimi anni hanno infatti registrato la diffusione di programmi informatici per astronomia, alcuni dei quali freeware come il celebre IRIS di C. Buil e delle camere di ripresa CCD, con la possibilità di effettuare via software l'allineamento di singole colonne di 1 pixel centrate su una riga spettrale di interesse sino a formare un'immagine del disco solare nell'elemento corrispondente alla riga stessa. La procedura è quanto mai semplice, e presuppone soltanto il possesso di uno spettroscopio di risoluzione adeguata ed un cannocchiale (od uno specchio) che invia un'immagine del disco solare sulla fenditura d'ingresso dello strumento, il tutto su una montatura equatoriale non necessariamente motorizzata, e l'utilizzo di una semplice telecamera di ripresa. Si porta quindi detta immagine sul bordo superiore della fenditura, si ferma il moto orario, se c'è, e si lascia scorrere il disco sulla fenditura stessa azionando nel contempo la telecamera ottenendo così un filmato AVI con una scansione del sole nella riga d'interesse. Poi il software con una

apposita routine trasformerà il filmato in un certo numero di frames formato Fits, in ciascuno dei quali è presente la riga spettrale. Un'altro comando permetterà poi di allineare una accanto all'altra, , la colonna di 1 pixel al centro della riga, per tutti i frames ottenendo un'immagine (fits, bmp o altro) del disco solare di formato pari a quello di ripresa della camera sull'asse Y, e, sull'asse X, al numero di frames ottenuti dalla scansione (mediamente 1700-1800 alla velocità di 10 fps). Nell'ipotesi, quindi, di una camera che riprenda filmati al formato 640 x 480, si otterrà un'immagine 1800 x 480 che andrà opportunamente riscalata ed elaborata per essere utilizzata. Se le focali dello strumento sono sufficientemente corte e d il chip della camera sufficientemente grande, si otterranno immagini del sole a tutto disco.

Alcuni spettroelioscopi digitali autocostruiti da Fulvio Mete: si tratta di configurazioni autocollimanti o Littrow, che garantiscono la massima compattezza in rapporto alle prestazioni.

Il primo, il più importante e funzionale, è VHIRSS, acronimo di Very High Resolution Solar Spectroscope; funzionale in quanto compendia tutti i requisiti da me immaginati per un simile strumento:

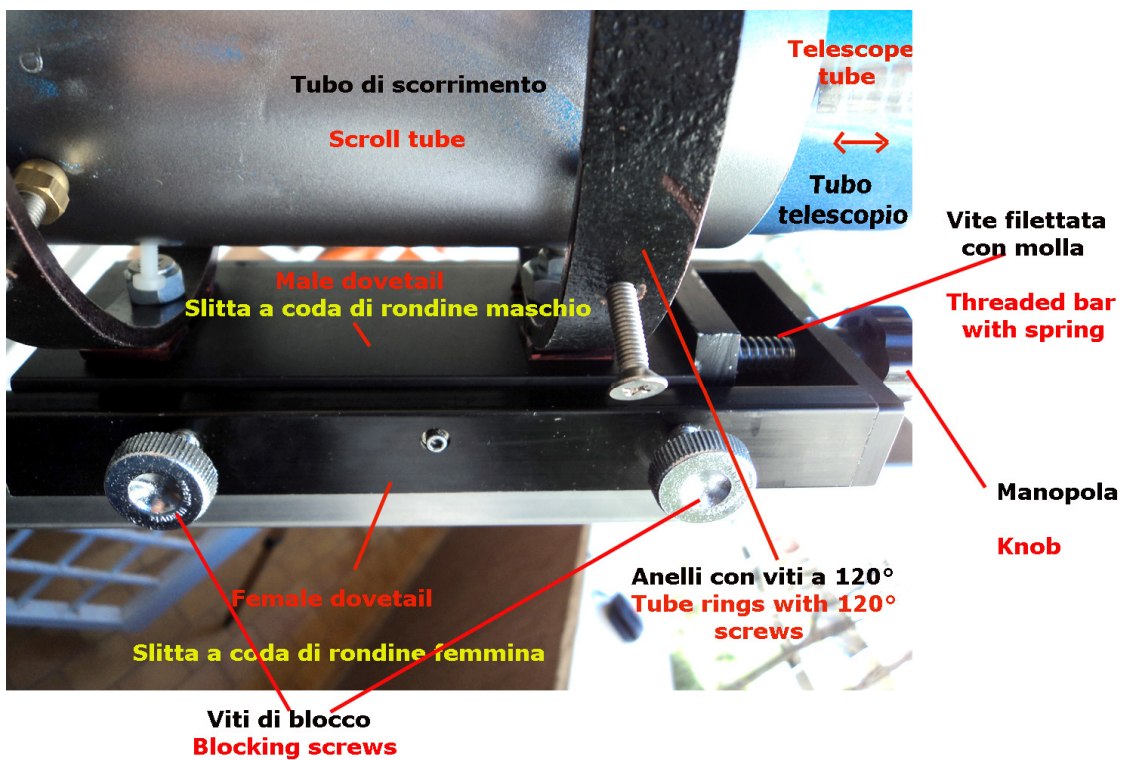
1-La notevole portatilità, pari a quella di un rifrattore da 10 cm a f 10-12 e quindi di uno strumento di normale uso in astronomia amatoriale

2-Le prestazioni veramente notevoli per uno strumento assemblato in casa, direi quasi straordinarie, e non è solo una mia impressione, dato che lo stesso è stato replicato da alcuni amatori in tutto il mondo e verrà richiamato in un testo inglese sulla Spettroeliografia in via di pubblicazione.

3-La semplicità d'uso, che rende possibile acquisire in casa propria immagini di natura quasi professionale.



Nelle immagini che seguono il layout ed alcuni particolari dello strumento, come il sistema di foceggiatura del telescopio che invia l'immagine solare alla fenditura dello spettroscopio.





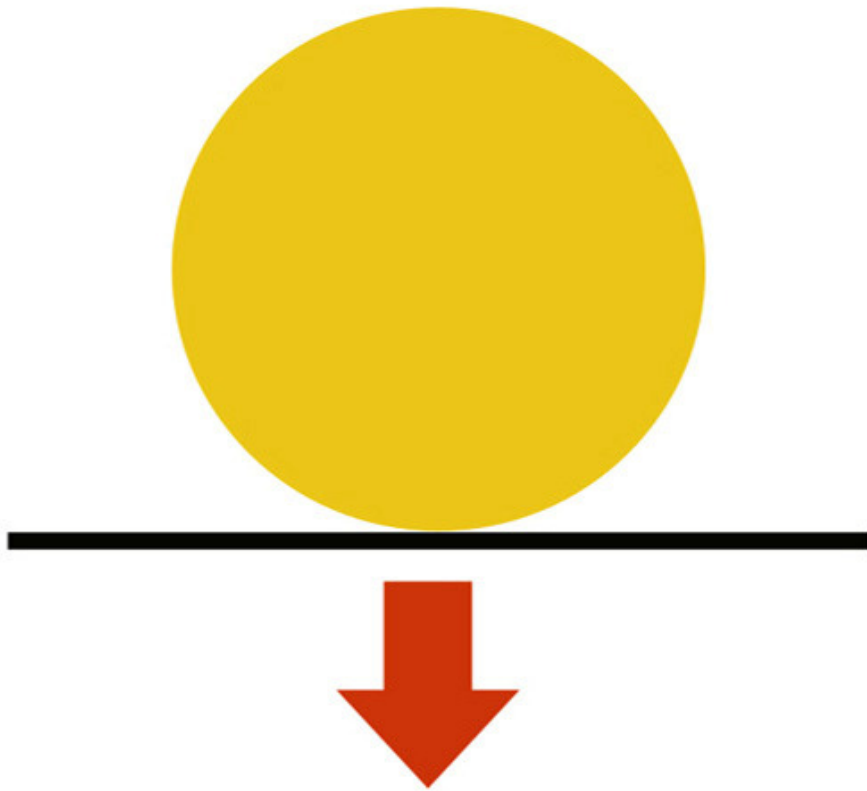
POSS 2, altro strumento simile autocostruito

Visione sintetica delle operazioni necessarie per ottenere un'immagine spettroeliografica

1) si sceglie la riga di interesse da scansionare (per esempio l'Ha), avendo cura di sovrapporre il continuo in modo che la riga stessa appaia chiara e siano visibili i particolari cromosferici al suo interno

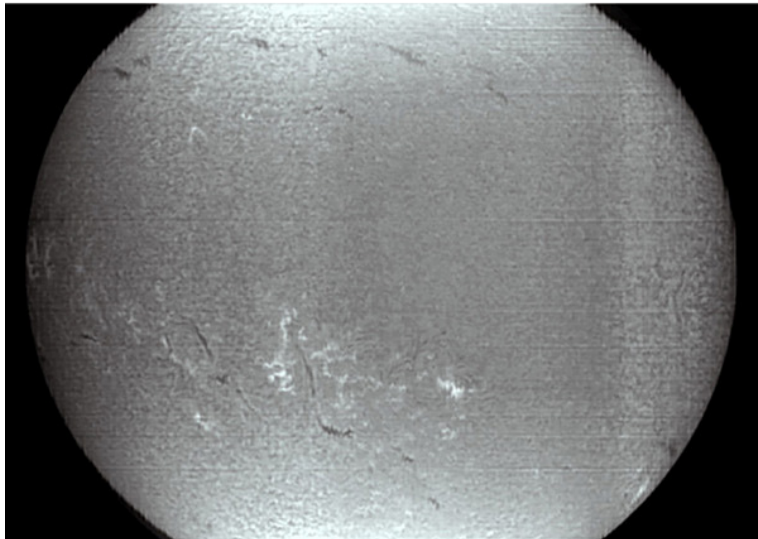
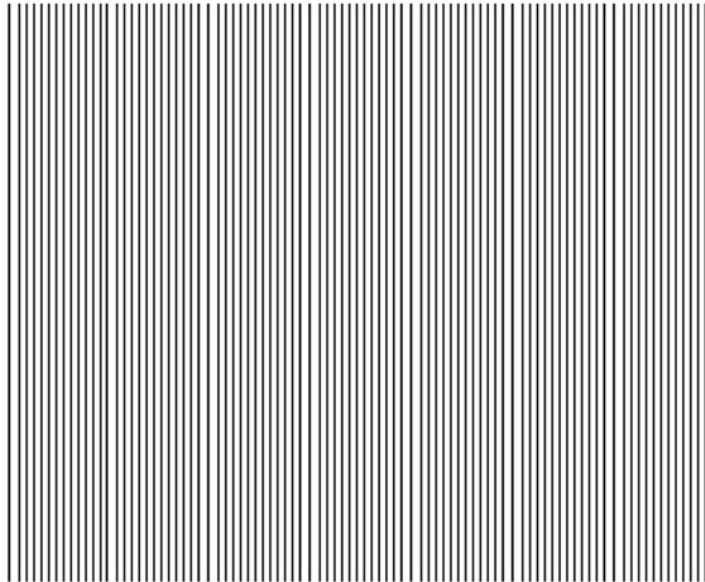
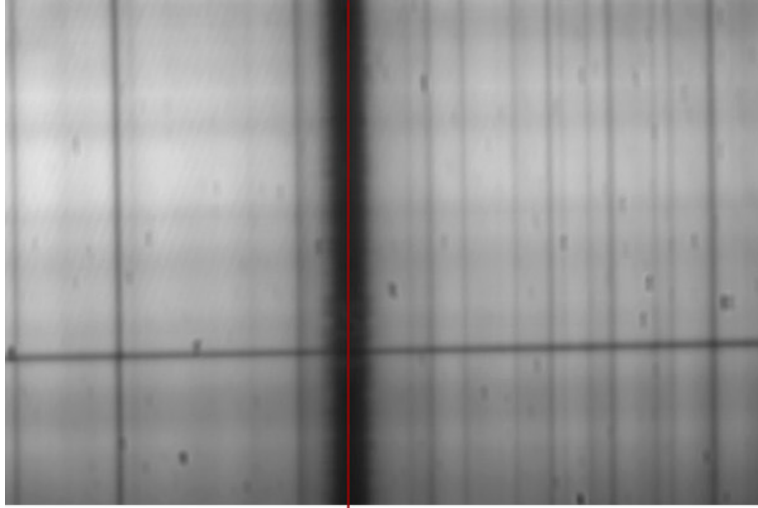


2) si pone quindi l'immagine solare proiettata dal telescopio (circa 5-6 mm in diametro per una focale di 4-500 mm) tangente al bordo superiore della fenditura

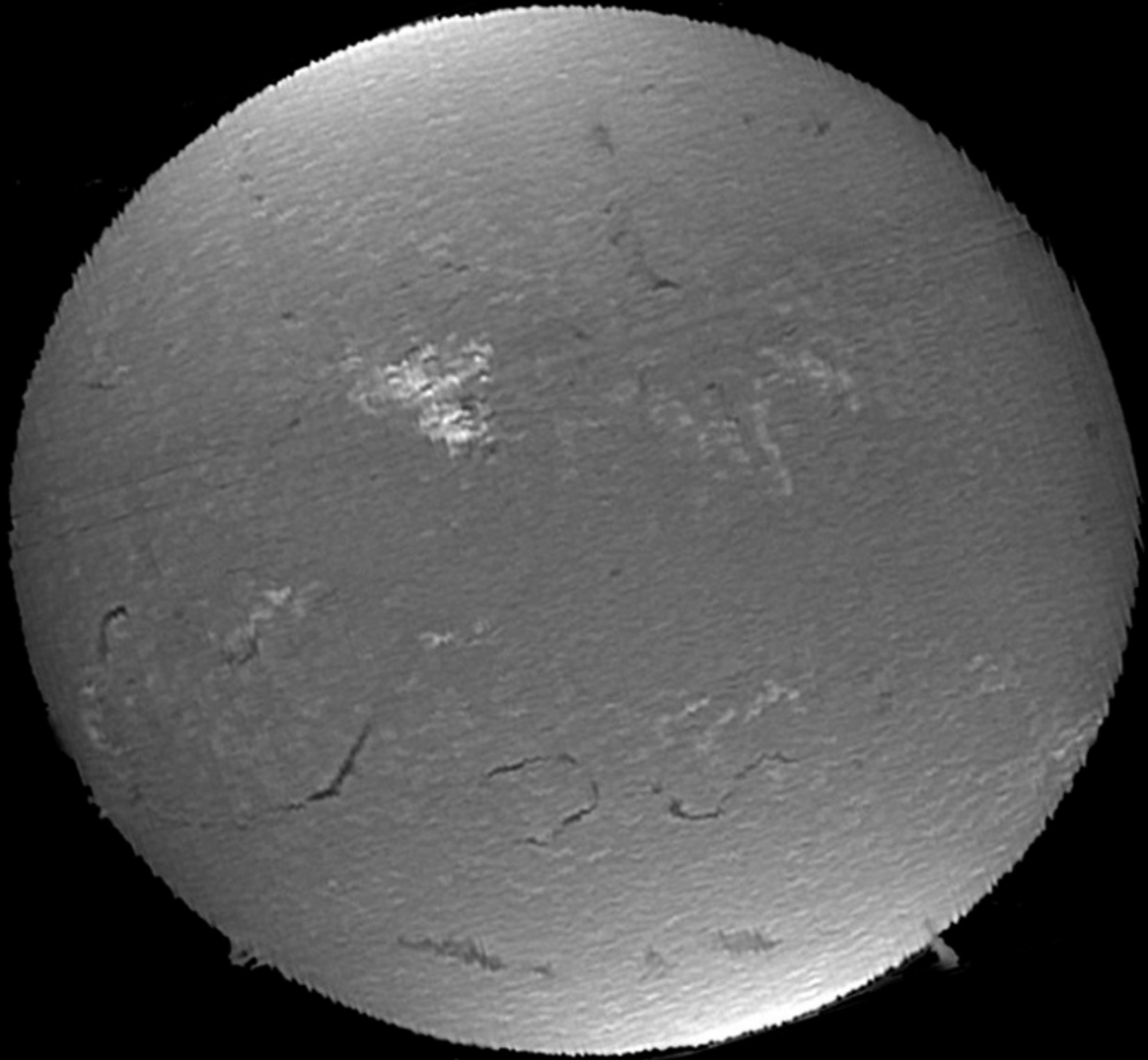


3) si ferma il moto orario della montatura, se in azione, e si lascia che l'immagine del sole scorra lentamente sulla fenditura, mediamente per un periodo di 2,8 minuti azionando contemporaneamente un ripresa con una videocamera CCD (ovvero anche con una normale webcam). Durante la scansione l'immagine della riga sullo schermo del PC sembrerà ingrandire, raggiungere un massimo di estensione, e poi rimpicciolire.

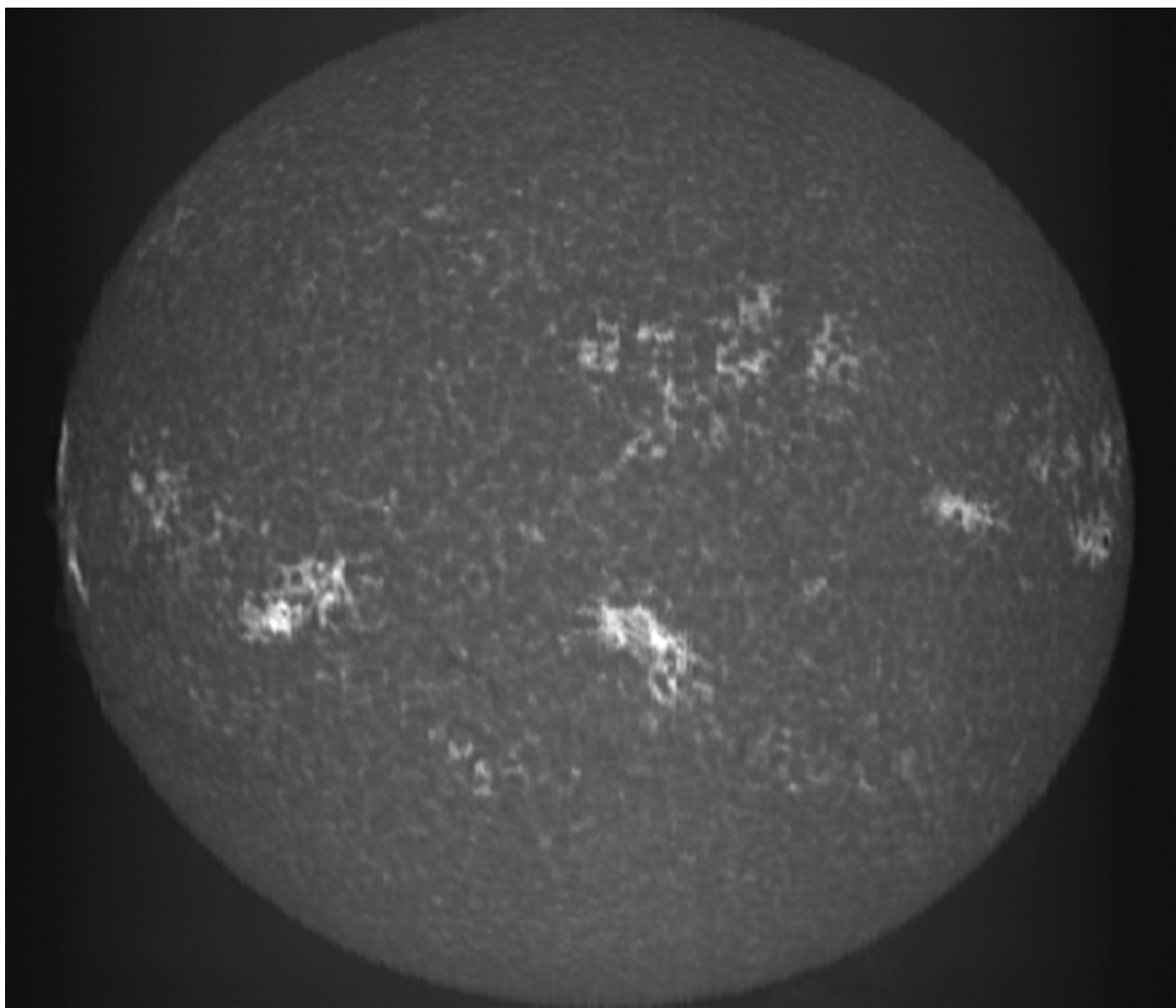
4) Otterremo quindi un file formato AVI, dal quale potremo estrarre delle immagini del punto della riga che ci interessa, sì, del punto della riga, perchè alcune di esse, come l'H alpha, hanno un estensione sullo schermo di ben 40-50 pixel. Sceglieremo in genere la colonna di un pixel al centro riga. Si tratterà ora di convertire questa colonna di un pixel in un'immagine con appositi programmi esistenti sul mercato, quasi tutti freeware, è possibile prima convertire il filmato in singole immagini, e poi mettere a registro, affiancandole, tutte le colonne relative al pixel scelto per ciascuna di esse. La procedura permette la emulazione totale di uno spettroeliografo di tipo convenzionale, consentendo di associare a ciascun pixel dell'immagine dello spettro lungo l'asse X e quindi ad una data lunghezza d'onda di dimensioni molto piccole (con VHIRSS ed una camera con pixel da 4.65 micron, 0,029 A nel violetto) la corrispondente immagine solare. Mentre il formato dell'asse Y dell'immagine è quello nativo della camera usata, quello lungo l'asse X è dato dalla velocità di acquisizione scelta in rapporto alla durata della scansione: se, ad es, il formato immagine nativo è 960 x 1280, le immagini che si otterranno saranno 960 X (To x Fps) dove To è il tempo necessario per effettuare la scansione del disco solare in secondi e Fps è il numero dei frames per secondo di acquisizione. Ammettendo quindi che To= 160 sec e Fps= 7,5, il formato immagine dell'asse X sarà 160 X 7,5= 1200. Avremo quindi delle immagini solari 960 X 1200 pixel.



Sun Ha May, 10. 2012 h. 8,15 UT
VHIRSS in spectrohelioscope mode
Fulvio Mete
Rome - Italy



Un'immagine in luce Ha ottenuta dall'autore con VHIRSS



***Un'immagine solare in luce CaII K, ripresa dall'autore con
VHIRSS***

Termina qui questa discussione sul sole, sulla sua natura e sui mezzi, amatoriali e non, per il suo imaging e per lo studio della sua evoluzione. Spero che queste pagine abbiano contribuito ad arricchire la vostra esperienza ed abbiano attratto il vostro interesse: se sarà così mi riterrò soddisfatto del mio lavoro.

Un saluto a tutti

Roma, 13 ottobre 2015

Fulvio Mete