

L'Osservazione CCD e la spettroeliografia solare amatoriale in luce UV

Di Fulvio Mete

Negli ultimi anni l'inquinamento luminoso ha limitato fortemente l'osservazione amatoriale del cielo profondo, richiedendo spostamenti sempre più disagiati dalla propria residenza per raggiungere siti dal cielo accettabilmente buio in cui si potesse osservare e fotografare gli oggetti più conosciuti ed alla portata delle strumentazioni amatoriali. Ma la vita di tutti i giorni ci impone obblighi costanti e non tutti hanno la possibilità di spostarsi per decine o centinaia di chilometri per raggiungere le poche ed ambite località di osservazione.

Perché allora non dedicarsi all'osservazione della stella a noi più vicina, il sole, che non necessita di spostamenti e che si può comodamente osservare anche da casa propria? A questa domanda molti astrofili hanno risposto affermativamente, ed il loro numero cresce costantemente, così come cresce l'esigenza di strumentazione specifica per l'osservazione solare. Inoltre il sole costituisce un gigantesco laboratorio dove possono essere studiati fenomeni fisici che, per la loro scala, non sono accessibili alla sperimentazione terrestre e non possono essere studiati in stelle più lontane: proprio per questo lo studio del Sole ha contribuito, e contribuisce in modo notevole, al progresso generale dell'astrofisica. Questo concetto è altrettanto valido per la spettroscopia e la spettrografia, che trovano nel Sole una grande opportunità di studio e sperimentazione.

Del resto anche con mezzi modesti l'astrofilo può fornire il proprio contributo allo studio scientifico del sole, che, contrariamente a quanto si crede, è di enorme interesse in quanto veicolo di approfondimento e comprensione dei fenomeni che avvengono nelle stelle più lontane.

Ma quali sono questi mezzi a disposizione dell'astrofilo? Essi sono essenzialmente due: quelli dell'osservazione della superficie del sole (fotosfera) in luce bianca, e quelli dell'osservazione dell'atmosfera solare, la cromosfera.

Va subito detto che l'osservazione della cromosfera riveste un interesse maggiore, anche per l'amatore, in quanto sede di fenomeni complessi, come ad esempio i flares, ed è da sempre oggetto di studio in campo professionale. Esaminerò pertanto in questa sede soltanto l'osservazione e la ripresa CCD o CMOS dell'atmosfera solare.

Le righe cromosferiche dello spettro solare più note all'amatore, in quanto per esse sono concepiti gli strumenti per l'osservazione amatoriale, sono essenzialmente due, quella dell'Idrogeno ionizzato a $6563 \text{ \AA}$ e quelle del Calcio ionizzato CaII K e H a 3933 e $3968 \text{ \AA}$. Occorre dire, tuttavia, che, mentre l'osservazione in luce H alpha può essere effettuata anche visualmente, quella

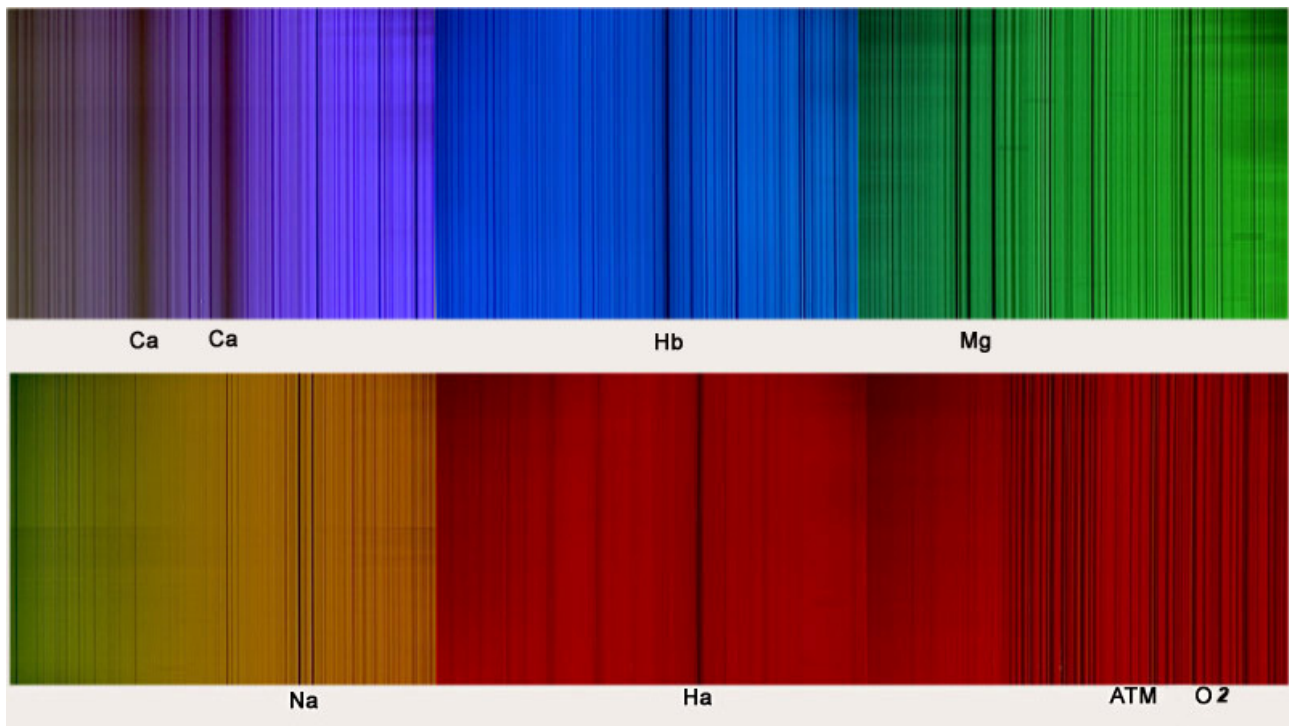
nelle righe del calcio è prerogativa quasi esclusiva dell'imaging CCD o CMOS per la scarsa sensibilità dell'occhio al violetto.

Molti appassionati del sole, tuttavia, non conoscono a fondo le differenze che intercorrono tra i due diversi tipi di osservazione della cromosfera solare, in luce H α e CaIIK né tantomeno le differenze fisiche tra le due righe e le relative popolazioni atomiche nell'atmosfera del sole.

Questo testo è quindi finalizzato a chiarire l'importanza dell'osservazione solare in luce Calcio, ed in tutta la banda del vicino UV ancora accessibile a strumenti amatoriali.

Lo spettro solare e l'UV

Lo spettro della luce solare appare ricco di righe di assorbimento anche con un modesto spettroscopio: alcune di esse sono effettivamente causate dal Sole, mentre altre appartengono all'atmosfera terrestre (righe telluriche): la maggior parte delle righe deboli appartengono infatti al vapore acqueo (H $_2$ O) e cambiano di intensità a seconda del grado di umidità, mentre altre appartengono all'Ossigeno diatomico (O $_2$), queste ultime concentrate in gran parte nel rosso profondo ai confini dell'IR. Lo spettro solare vero e proprio costituisce tuttavia un laboratorio unico per gli appassionati di fisica e, perché no, anche per gli appassionati di spettroscopia astronomica. Le righe della serie di Balmer dell'Idrogeno, del Calcio, del Magnesio e dell'Ossigeno diatomico sono evidenti ed appaiono, a media risoluzione, come nell'immagine sottostante (strumento TSA), foto dell'autore:



Nell'immagine che precede, in alto a sinistra si possono osservare le due righe del Calcio ionizzato, CaII K a $3933 \text{ \AA}$ e CaII H a $3968 \text{ \AA}$. Come si vede, esse appaiono molto più estese ed intense dell'Idrogeno alfa a $6563 \text{ \AA}$. In effetti tali due righe sono le più intense dello spettro solare.

Ma l'osservazione delle righe e dei colori dello spettro solare non è fine a se stessa. Essa ci fornisce preziosi elementi di conoscenza ed informazione su:

1- Gli elementi chimici presenti sul Sole, dato che le righe associate ad una data lunghezza d'onda costituiscono delle vere e proprie impronte digitali caratteristiche di ogni singolo elemento.

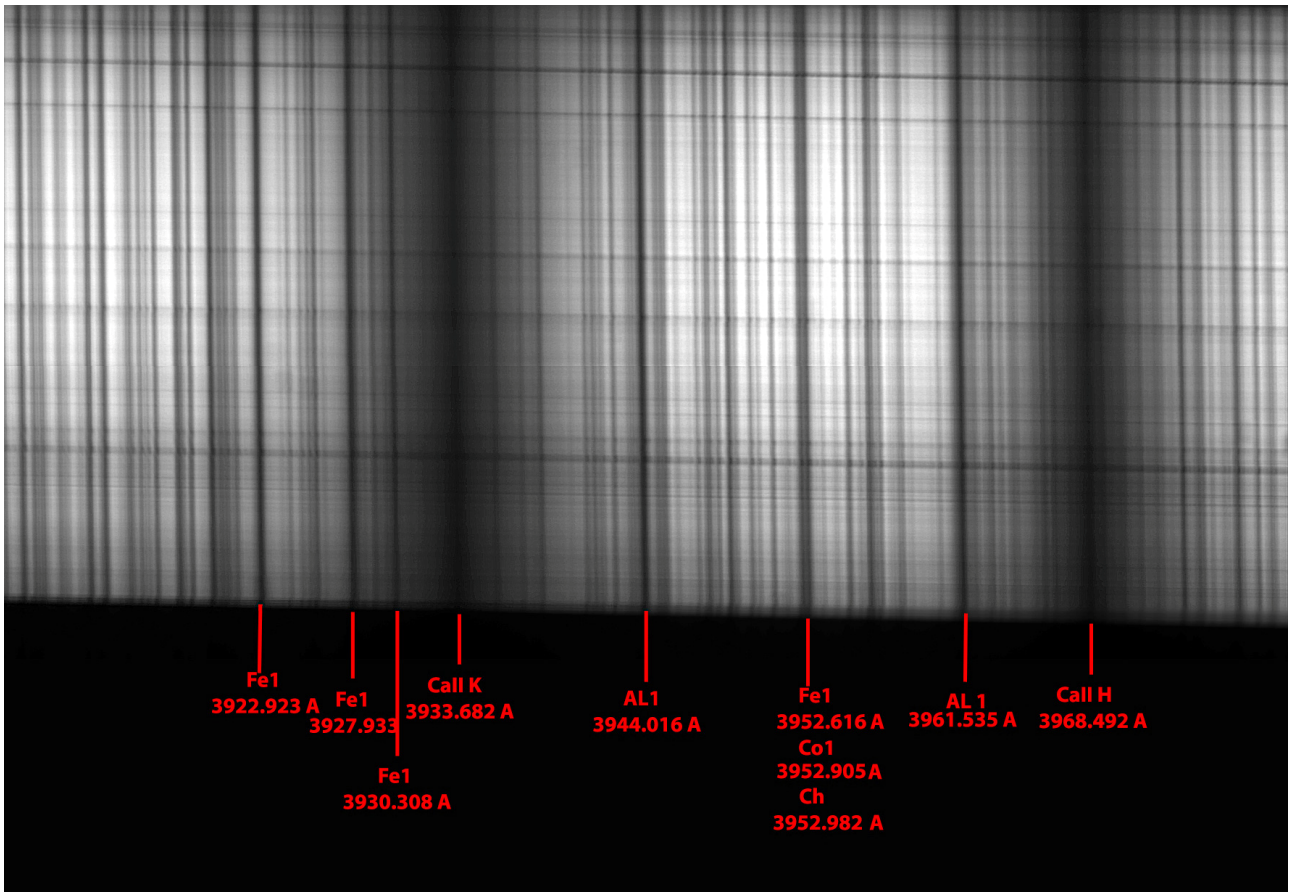
2- L'abbondanza atomica dell'elemento, dedotta dall'intensità delle righe.

3- La temperatura alla quale si trovano gli elementi relativi alla riga o le loro transizioni atomiche, dato che le transizioni ai diversi livelli atomici avvengono a temperature diverse. La temperatura è derivata anche dalla larghezza della riga interessata.

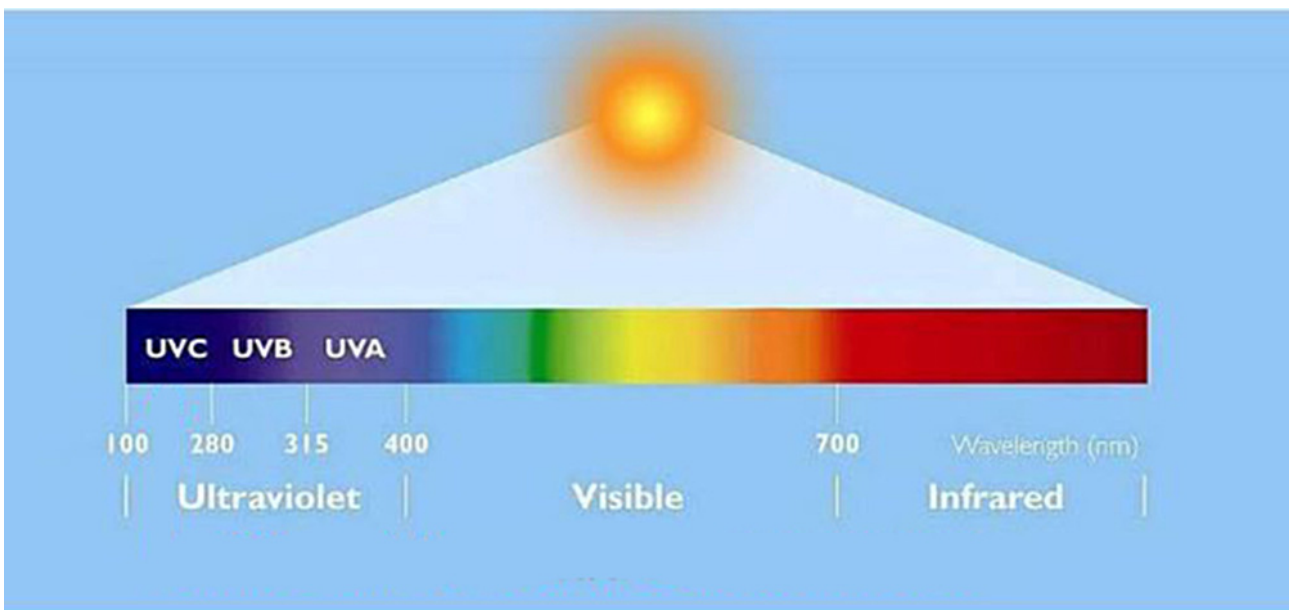
4- Il campo magnetico della regione studiata grazie all'effetto Zeeman che provoca lo splitting (divisione in 2 o 3 parti) delle righe sensibili ai campi magnetici.

5- Il moto del plasma solare rispetto all'osservatore per effetto Doppler.

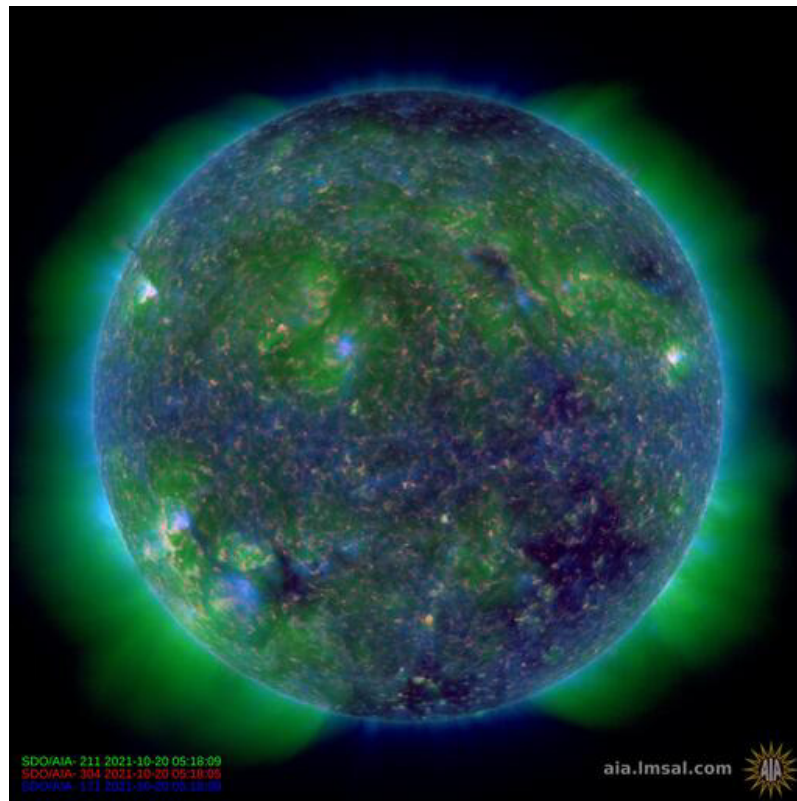
Qui di seguito lo spettro bidimensionale in alta risoluzione dell'UV vicino tra 3907 e $3980 \text{ \AA}$ circa nel quale primeggiano le righe del Calcio.



La banda del violetto e dell'UV vicino, nella quale si trovano le righe del Calcio ionizzato, ha una notevole estensione, andando da 1000 a 4000 Å (100-400 nm)



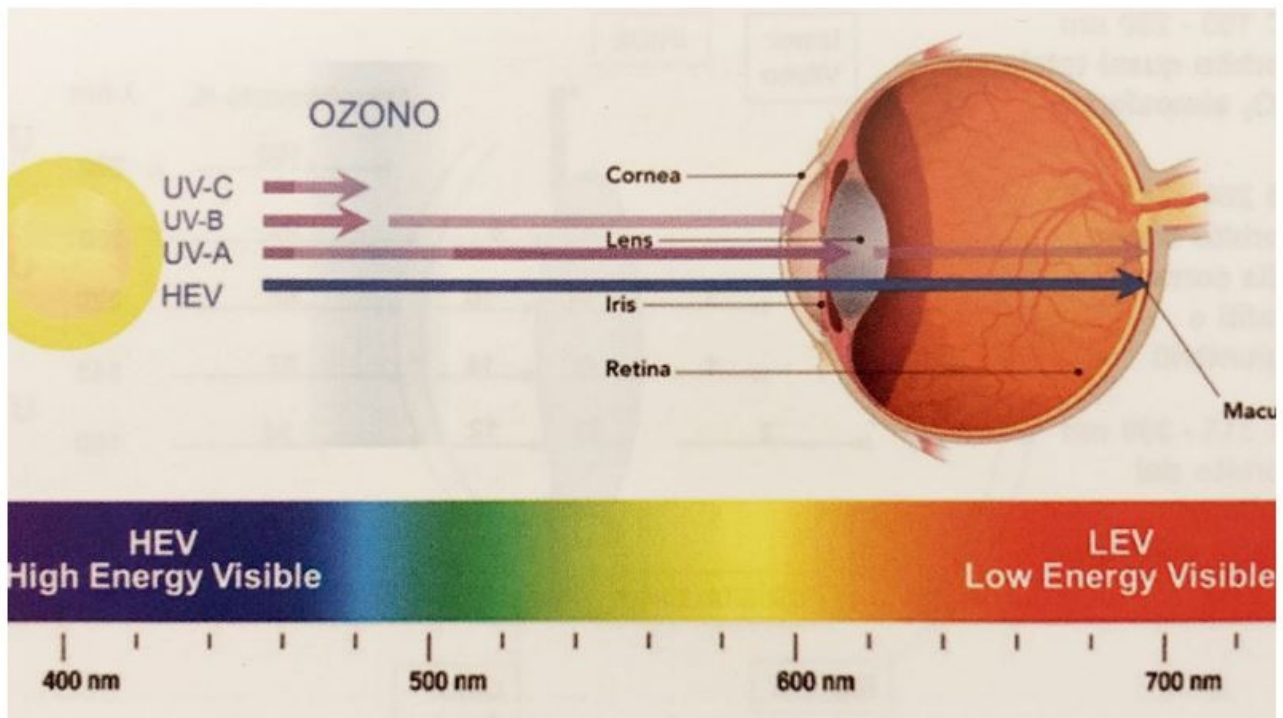
Ci si potrebbe domandare, ma perché limitarsi all'UV vicino, quando strumenti come quelli a bordo dell'SDO e di altri satelliti ottengono meravigliose e varie immagini dell'alta atmosfera e della corona solare tra i 94 e 1700 Å, come quella, composita dell'SDO-AIA di seguito riportata (fonte SDO-NASA) .



la risposta è semplice e duplice :

- l'atmosfera terrestre assorbe (fortunatamente) tutta la radiazione UV C (100-280 nm), che è mutagena e dannosa per gli esseri umani e parte dell'UV B (280-315), mentre lascia passare la UV A tra 315 e 400 nm.
- Dobbiamo fare i conti, per le osservazioni visuali, con la sensibilità dell'occhio umano che è ridottissima sotto i 400 nm , e, per quelle fotografiche, con l'efficienza quantica dei sensori CCD e CMOS comunque limitata dai 400 nm in giù.
-

Occorre dire che è a mio avviso sconsigliabile, anche per chi ha una vista acuta nel violetto, effettuare osservazioni visuali in tale banda per lunghi periodi di tempo, in quanto anche l'assorbimento di raggi UVA (quelli meno dannosi) può causare patologie alla struttura oculare ed in particolare al cristallino, come si osserva nell'immagine che segue (fonte Ottica Scientifica Merli-Alfredo Merli)



E' quindi da privilegiare l'osservazione CCD o CMOS, ma vediamo com'è la situazione.

Efficienza quantica e UV

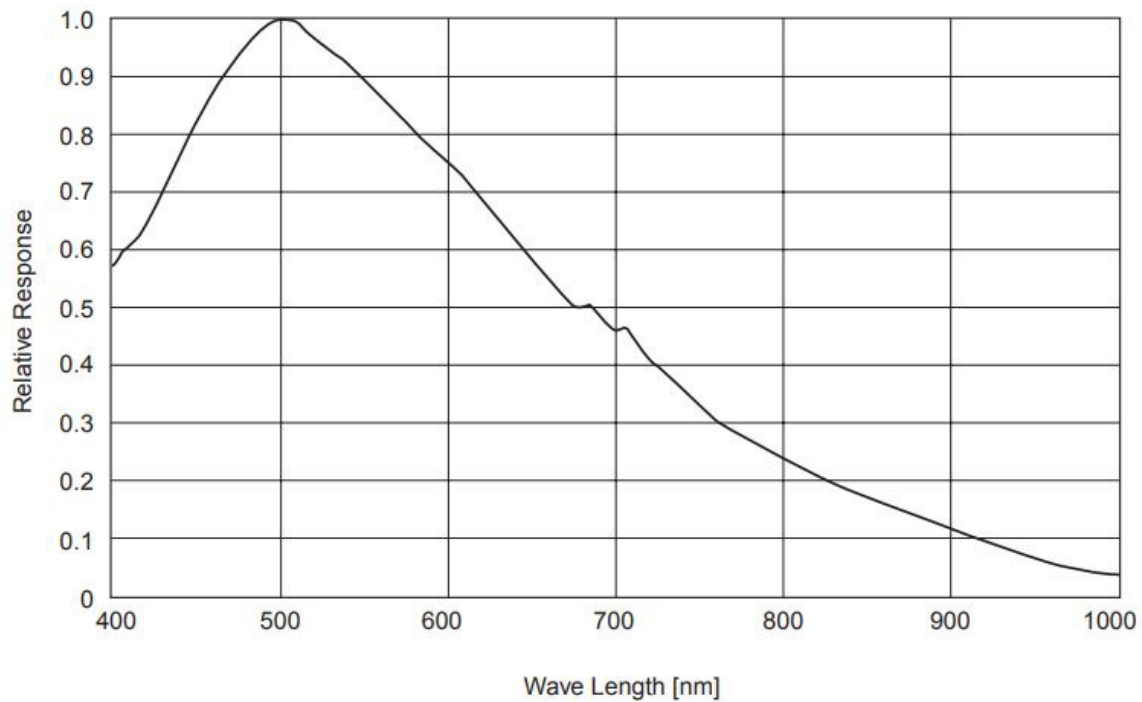
Si può definire come efficienza quantica (QE) di un sensore la capacità di un pixel di convertire in un elettrone un fotone incidente. Il pixel ideale sarebbe quello che ad ogni fotone libera un elettrone, con una QE del 100%: sfortunatamente il pixel ideale non esiste ed una parte più o meno rilevante di fotoni non produrranno alcun effetto sul sensore ed i suoi pixel: ora, la QE varia in funzione della lunghezza d'onda della luce per qualsiasi tipo di sensore CCD o CMOS.

Buona parte dei sensori hanno una curva di QE con un picco tra i 500 e 600 nm, nel visibile, ovvero nella zona dove l'occhio umano è più sensibile. Andando verso il violetto e l'ultravioletto la capacità di registrare fotoni diminuisce rapidamente.

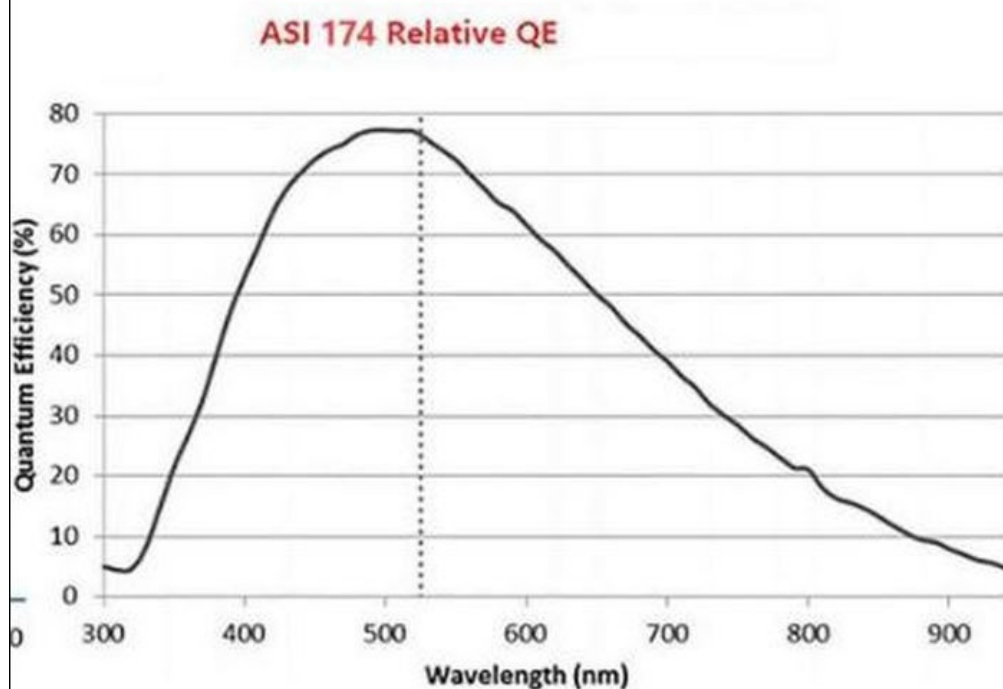
Riporto qui di seguito la QE di alcuni sensori di camere CCD e CMOS che possono essere utilizzate per l'imaging e la spettroeliografia nell'UV vicino. Si tratta ovviamente di camere con sensori monocromatici, dato che quelli a colori non si prestano per vari motivi alle osservazioni solari.

La prima è quella del sensore Sony ICX 274 AL che equipaggia la camera Imaging Source DMK 51 che normalmente uso per le riprese solari, ed in particolare per la spettroeliografia. Come si può osservare, la grande versatilità di questo sensore permette di avere la stessa QE, di circa il 58% a 400 e 650

nm che si traduce nella possibilità di avere buone immagini o spettroeliogrammi sia nell'Uv vicino (CaII K e H), che nella zona del rosso profondo (H alpha). Tuttavia in proporzione, la sensibilità nella zona dell'UV, dove la maggior parte dei sensori cadono in prestazioni rende questo sensore eccellente per le righe del Calcio ionizzato.



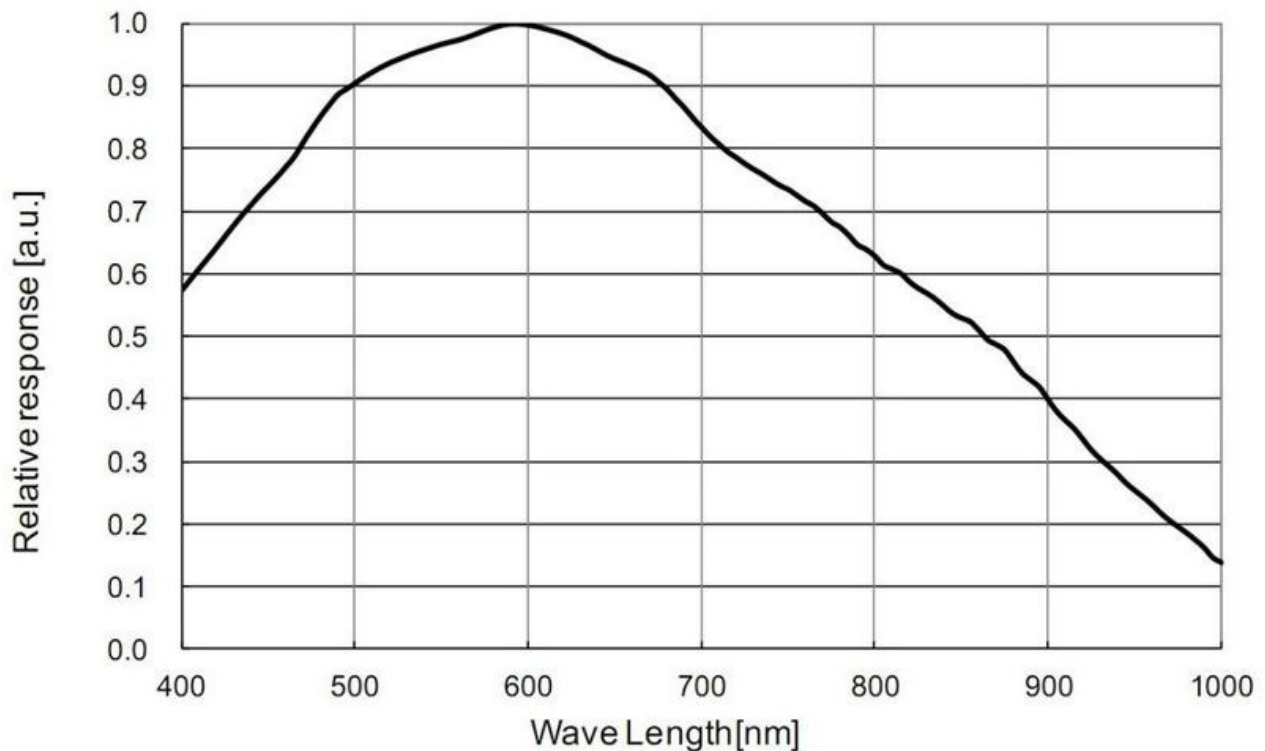
Relativamente ai sensori CMOS, che equipaggiano le camere ZWO-ASI e QHY, che vanno per la maggiore e vengono oggi preferite ai CCD, ricordo il sensore Sony Exmor IMX 174 monocrome della ZWO ASI 174 mm.



Anche detto sensore ha una buona sensibilità nel violetto intorno ai 400 nm, di circa il 50%.

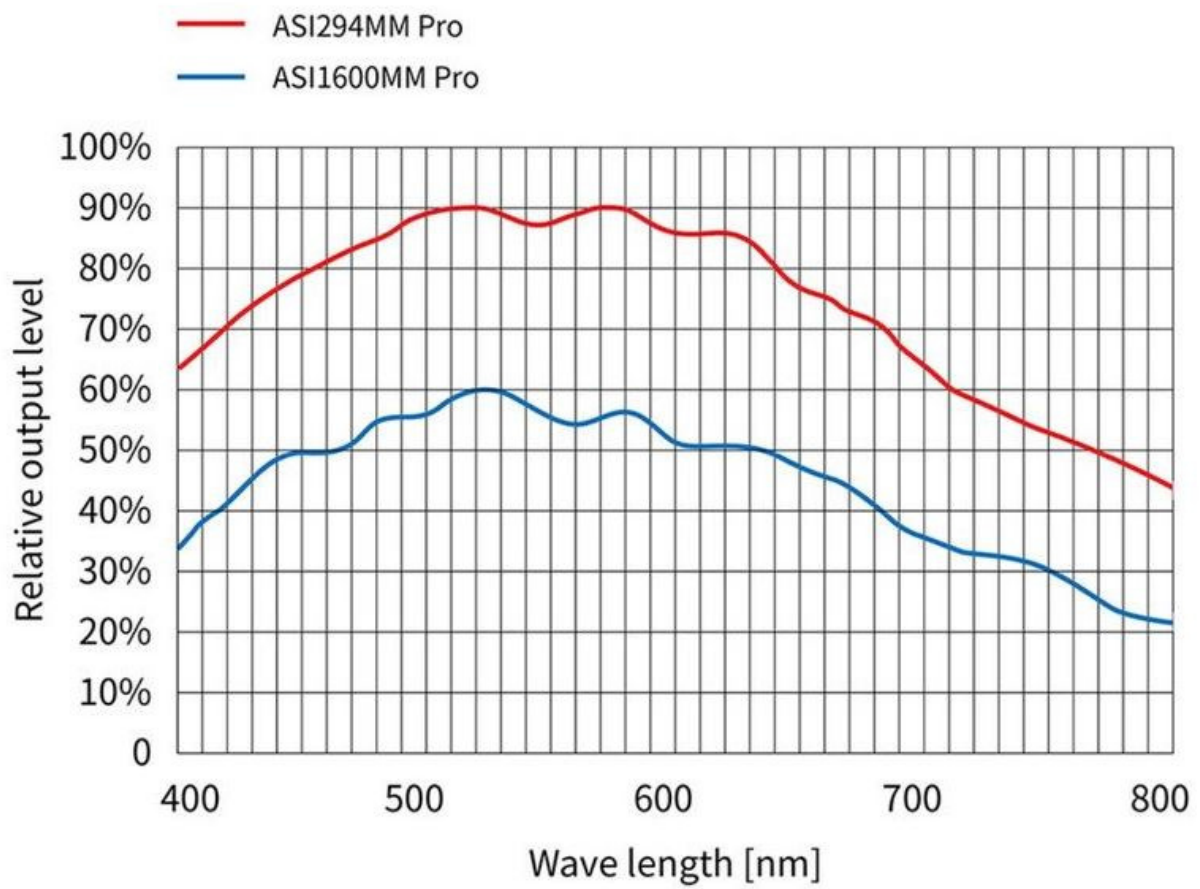
Segue il chip Sony IMX 290 LQR, Back illuminated. Occorre al riguardo aprire una piccola parentesi: in tale tipo di sensori la luce colpisce direttamente lo strato fotosensibile posto su retro, e non le connessioni elettriche e lo strato isolante posti sul davanti, con un forte guadagno di sensibilità, specie nella parte violetta e nell'UV vicino.

Infatti nel violetto tale sensore presenta prestazioni pari al CCD della DMK 51 con una QE di circa il 58%, anche se nel rosso profondo e nell'IR vicino nettamente superiori.

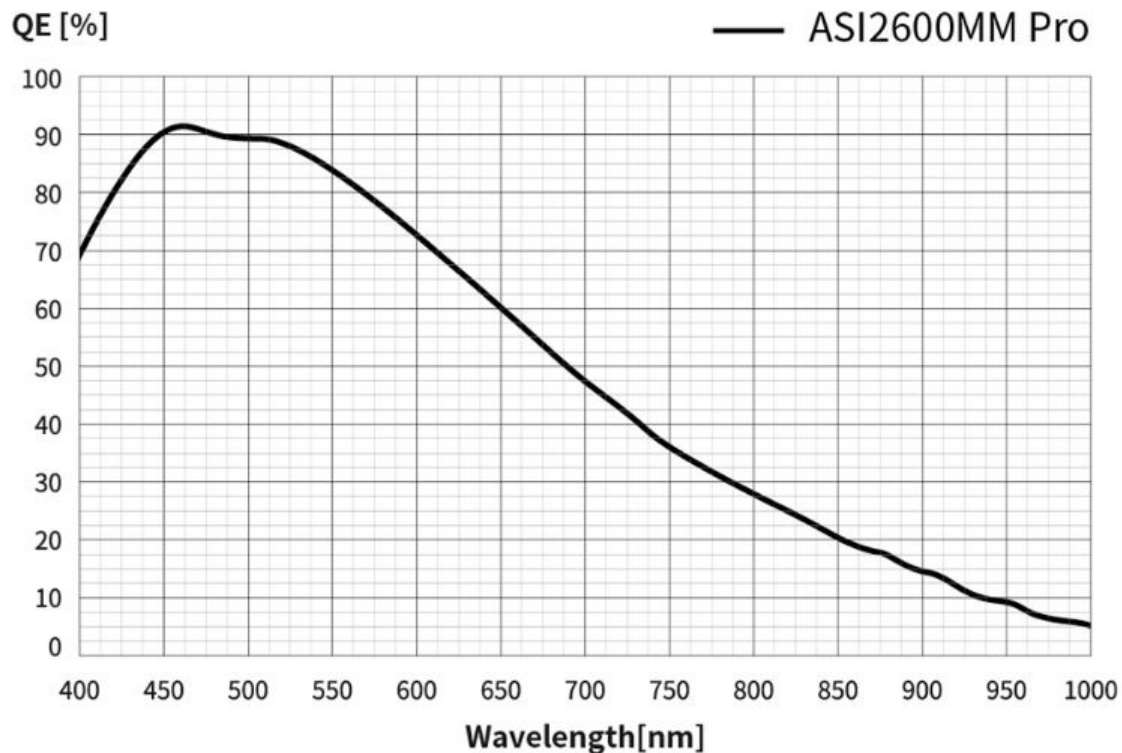


Stesso discorso col sensore Sony IMX 492 back illuminated della ZWO ASI 294 mono, che tra l'altro presenta una buona dinamica ed una ottima full-well capacity, la cui QE è, nell'immagine sottostante, paragonata a quella della ZWO ASI 1600. Tale sensore, peraltro, ha una QE ben distribuita tra UV , visibile ed IR e si presta bene a osservazioni astronomiche amatoriali non solo nell'UV.

Di seguito la notevolissima QE nel violetto del sensore Sony IMX 571 dell'ASI 2600 pro, che copre il formato APS C.



Di seguito la notevolissima QE nel violetto del sensore Sony IMX 571 dell'ASI 2600 pro, che copre il formato APS C.



Si potrebbe continuare, ma quello che mi preme sottolineare in questa sede è che è inutile tentare riprese CCD o CMOS con sensori monocromatici non adatti a tale compito, o peggio ancora con sensori a colori. Naturalmente una buona dinamica ed una buona full-well capacity (capacità dei pixel di immagazzinare fotoni e quindi all'incirca proporzionale alla loro grandezza) danno un ulteriore aiuto.

Tengo a precisare che, anche se ho fatto riferimento a marche specifiche di camere, il discorso vale per i sensori Sony, che equipaggiano anche analoghe camere CMOS di altri marchi: Imaging Source, QHY ed altre. L'architettura della camera, l'elettronica e tutti gli altri fattori possono contribuire, entro certi limiti, a migliorarne le prestazioni.

E' ora il momento di rispondere ad una domanda cruciale: perché osservare la Cromosfera in banda UV invece del solito e tutto sommato comodo H alpha, per il quale esiste una pletora di filtri e telescopi dedicati a prezzi tutto sommato non eccessivi, e che permette anche l'osservazione visuale senza problemi?

Perché il CaII K e H nell'UV

Nel paper di Vernazza ed altri (Structure of Solar Chromosphere-1981) è pubblicato il diagramma sottostante che sintetizza in modo semplice ed immediato le differenze di altezza e temperatura nel sole quieto tra le osservazioni nella diverse righe spettrali delle popolazioni atomiche presenti in cromosfera.

No. 4, 1981

QUIET SUN EUV BRIGHTNESS COMPONENTS

637

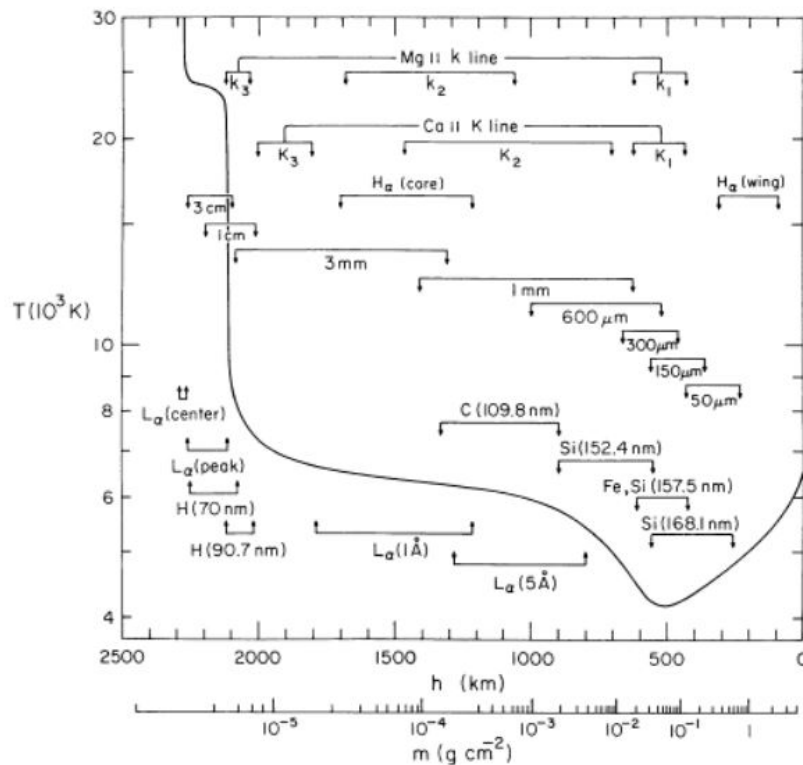
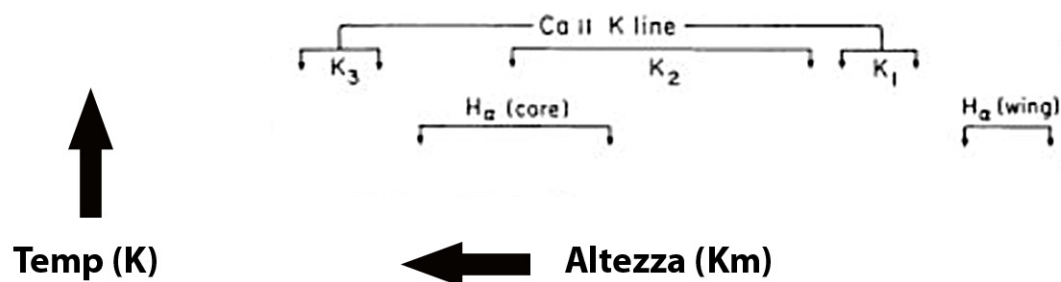


FIG. 1.— The average quiet-Sun temperature distribution derived from the EUV continuum, the L_{α} line, and other observations. The approximate depths where the various continua and lines originate are indicated.

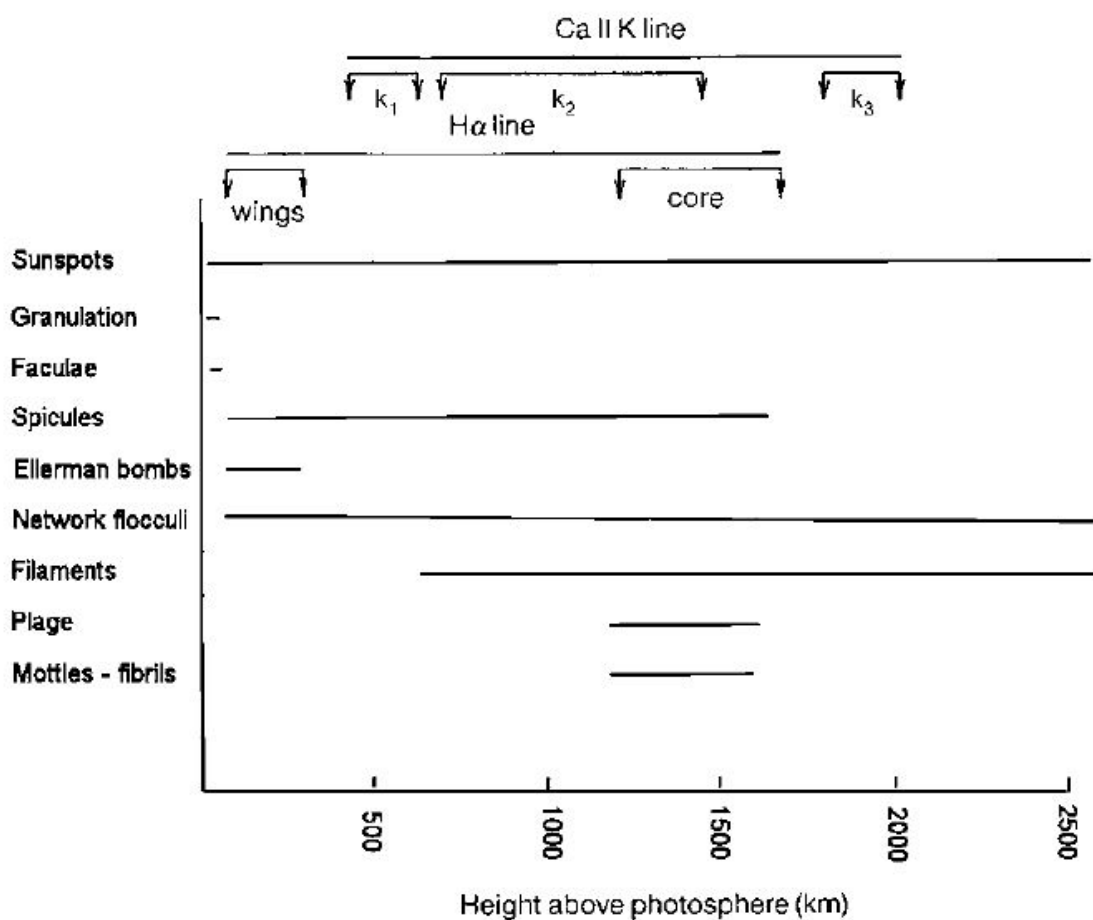
La prima cosa che salta all'occhio nel diagramma è quella che, andando dalle ali, al centro delle righe di maggior importanza in cromosfera, come H alpha e Ca II si va dall'alta fotosfera all'alta cromosfera, ovvero si sale in altezza, dai circa 200-300 Km delle ali dell'Halpha ai circa 1800-2000Km della parte centrale della riga CaII K, la CaIIK 3: contemporaneamente si sale di temperatura sulla base della curva.

Ci spiega anche un'altra cosa, che il CaIIK si trova un po' più in alto ed ad una temperatura maggiore dell'H α .

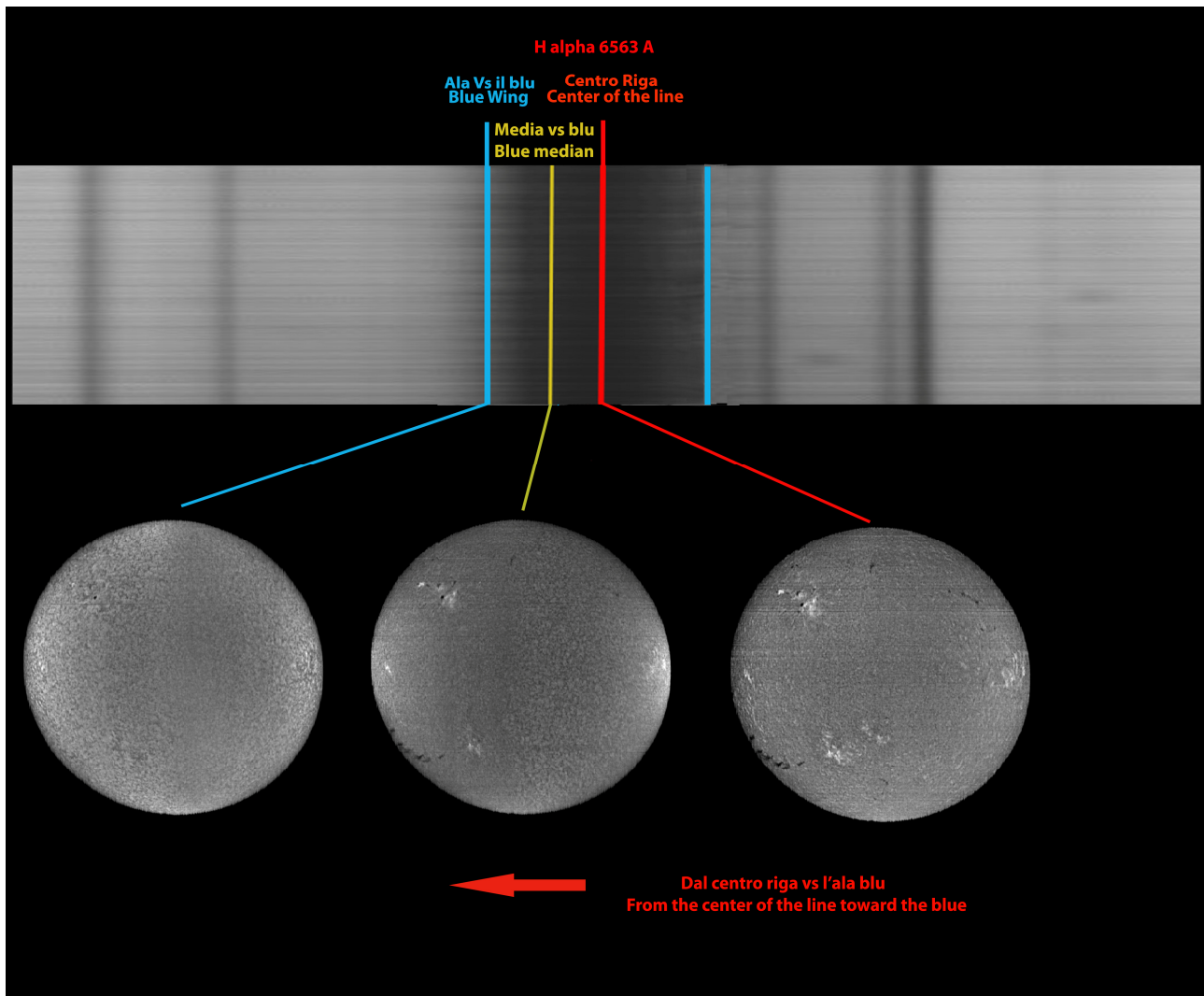


Per chiarire ulteriormente il concetto, il diagramma che segue ci mostra come determinati fenomeni fisici presenti sul sole (macchie, facole, filamenti, plages, etc) presentano un diverso aspetto non solo a seconda dell'elemento nella cui luce sono registrati od osservati (ad esempio Idrogeno alfa o Calcio ionizzato) ma anche se l'osservazione viene effettuata al centro della riga dei predetti elementi o sulle ali, in quanto andando dalle ali verso il centro riga vuol dire andare verso la parte alta della cromosfera e salire verso temperature più elevate, mentre, all'inverso, dal centro verso le ali ci si sposta verso la bassa cromosfera e la fotosfera.

Per esempio: nella zona del CaIIK₃, al centro della riga CaII K si osservano solo macchie, flocculi, ma, dato che in questo punto la sensibilità della riga ai campi magnetici è massima, e quindi i predetti elementi si osservano in emissione, con una brillantezza sconosciuta in H alpha mentre i filamenti sono meno evidenti. Andando dal centro riga verso le ali, si osservano gli stessi elementi osservabili in H alpha, ma sempre con un'intensità maggiore, esclusi i filamenti.

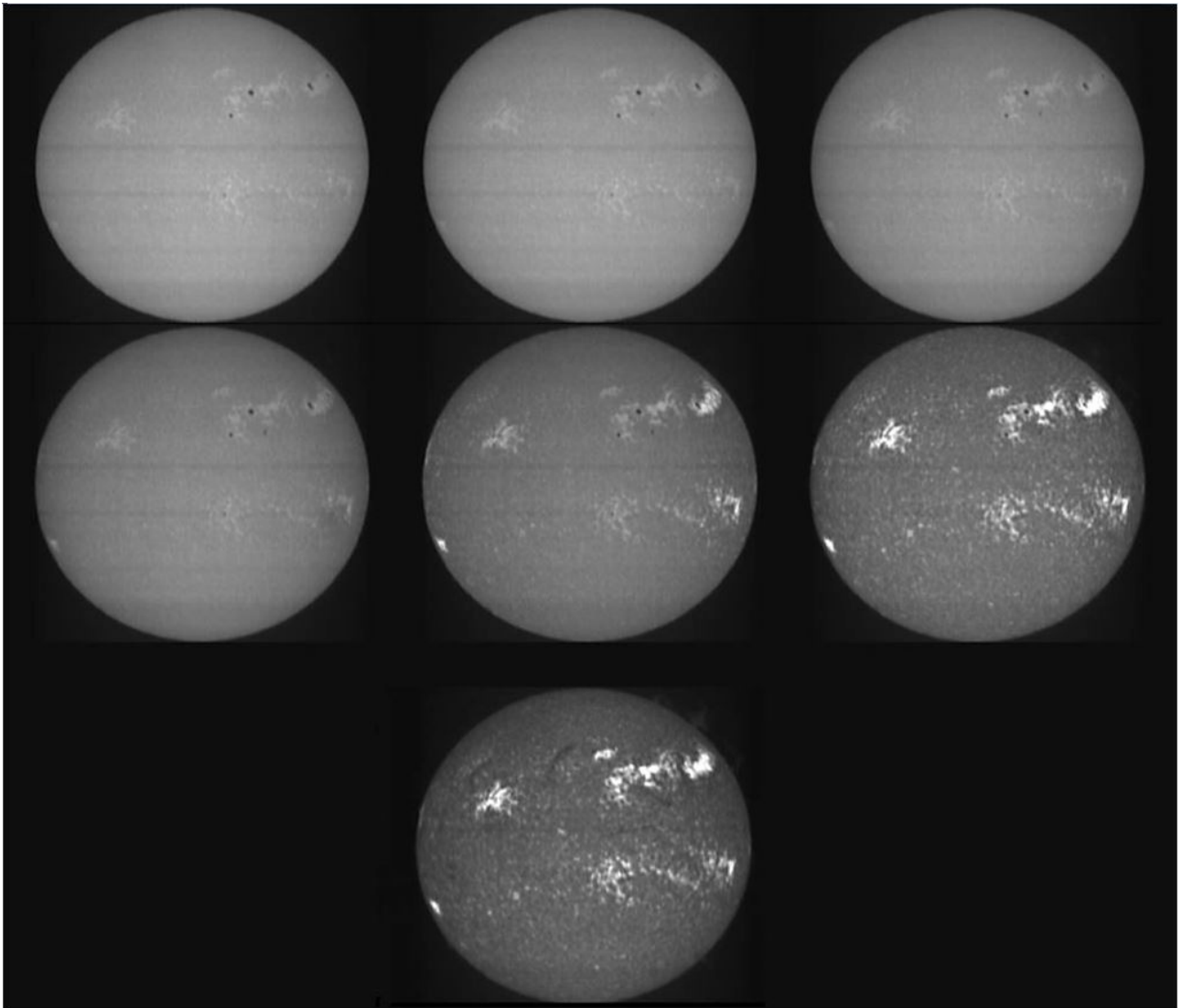


Nell'esempio riportato nell'immagine che segue, riferito all'H alpha, si osserva come, spostandosi dal centro riga verso l'ala blu (cosa che normalmente si ottiene, con alcuni telescopi solari con etalon frontale col tilting dello stesso) si passa dalla visibilità delle più importanti caratteristiche cromosferiche alla visione della sola granulazione, flocculi, spicules ovvero l'immagine si impoverisce. Anche la visione delle macchie perde di intensità.



Nel caso del Calcio ionizzato la differenza di aspetto tra le ali ed il centro riga è drammatico, come si osserva in questa sequenza di immagini che vanno dal bordo della riga al centro, come si è detto, il CaII K3 oppure dal filmato da me pubblicato qualche tempo fa su You Tube al link:

<https://www.youtube.com/watch?v=UawuoecJfio>

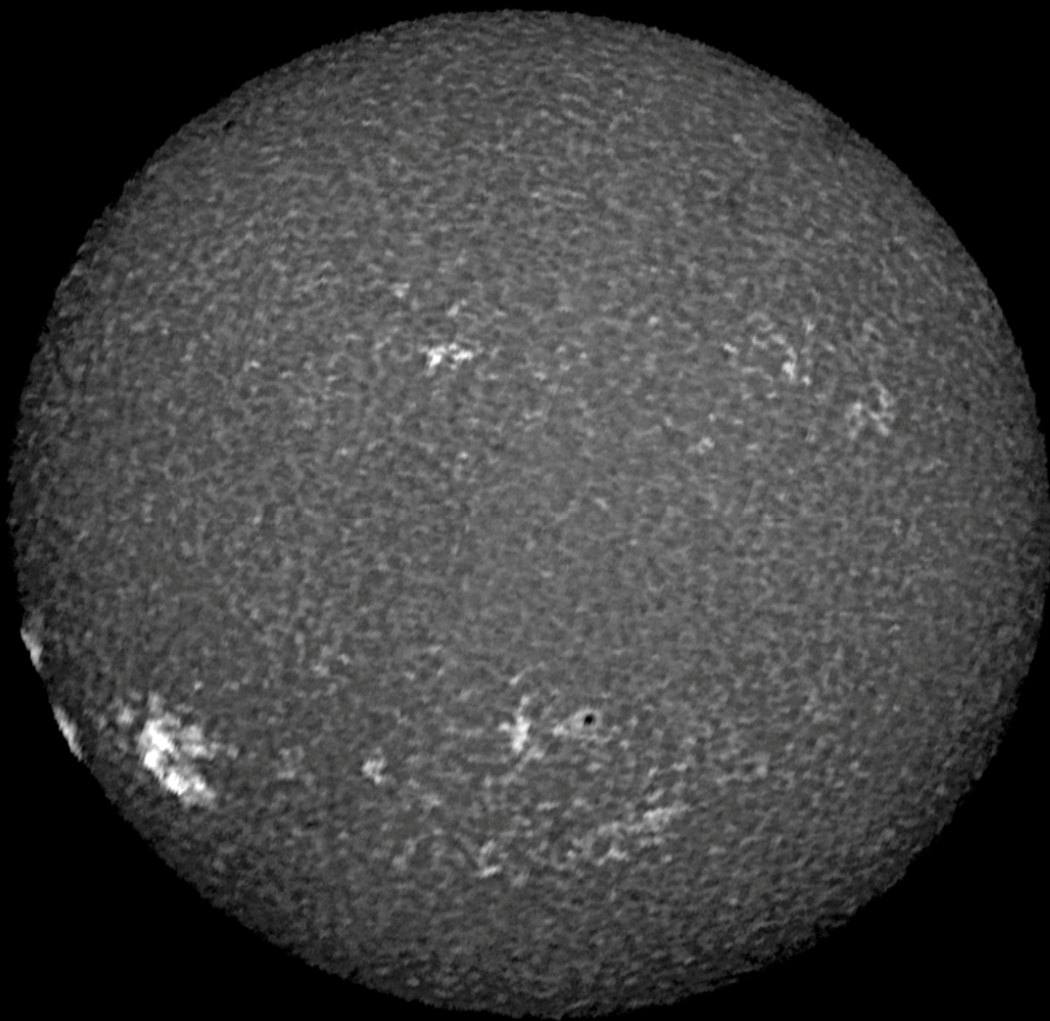


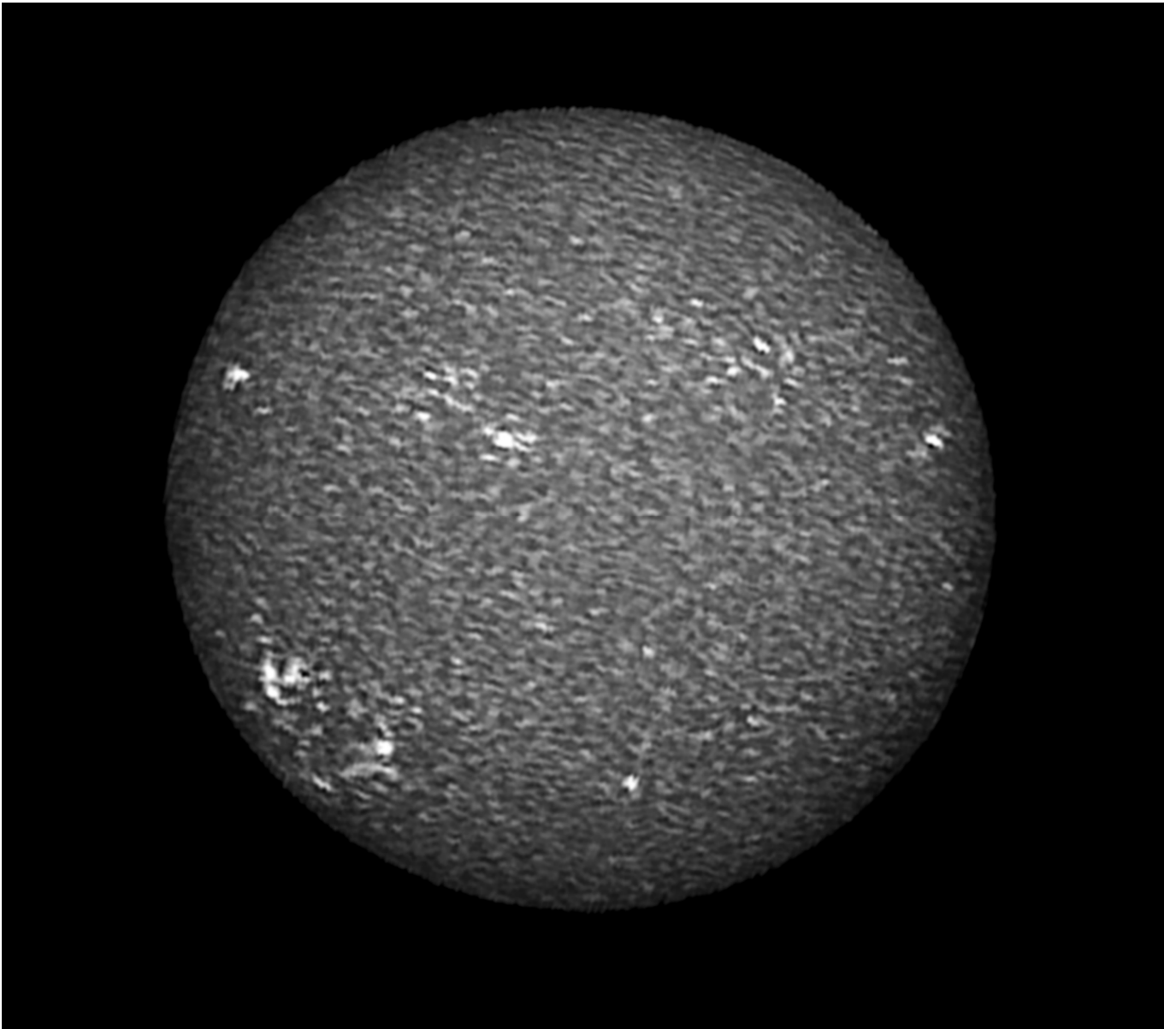
Ora la domanda cruciale, perché osservare in CaII e non in H Alpha?.

Innanzitutto tre immagini, riprese coi miei Spettroscopi POSS2 (POrtable Solar Spectroscope) e VHIRSS (V ery High Resolution Solar Spectroscope) in modalità spettroeliografi digitali: la prima in luce CaII H per una banda passante di 0.04 Å circa, la seconda in luce CaII K3, e la terza in H alpha con una banda passante di 0.02 Å entrambe esattamente sul centro delle rispettive righe. Ovviamente bande passanti così strette sono escluse agli strumenti amatoriali solari, sia in H alpha che CaII e sono prerogativa solo della spettroeliografia.

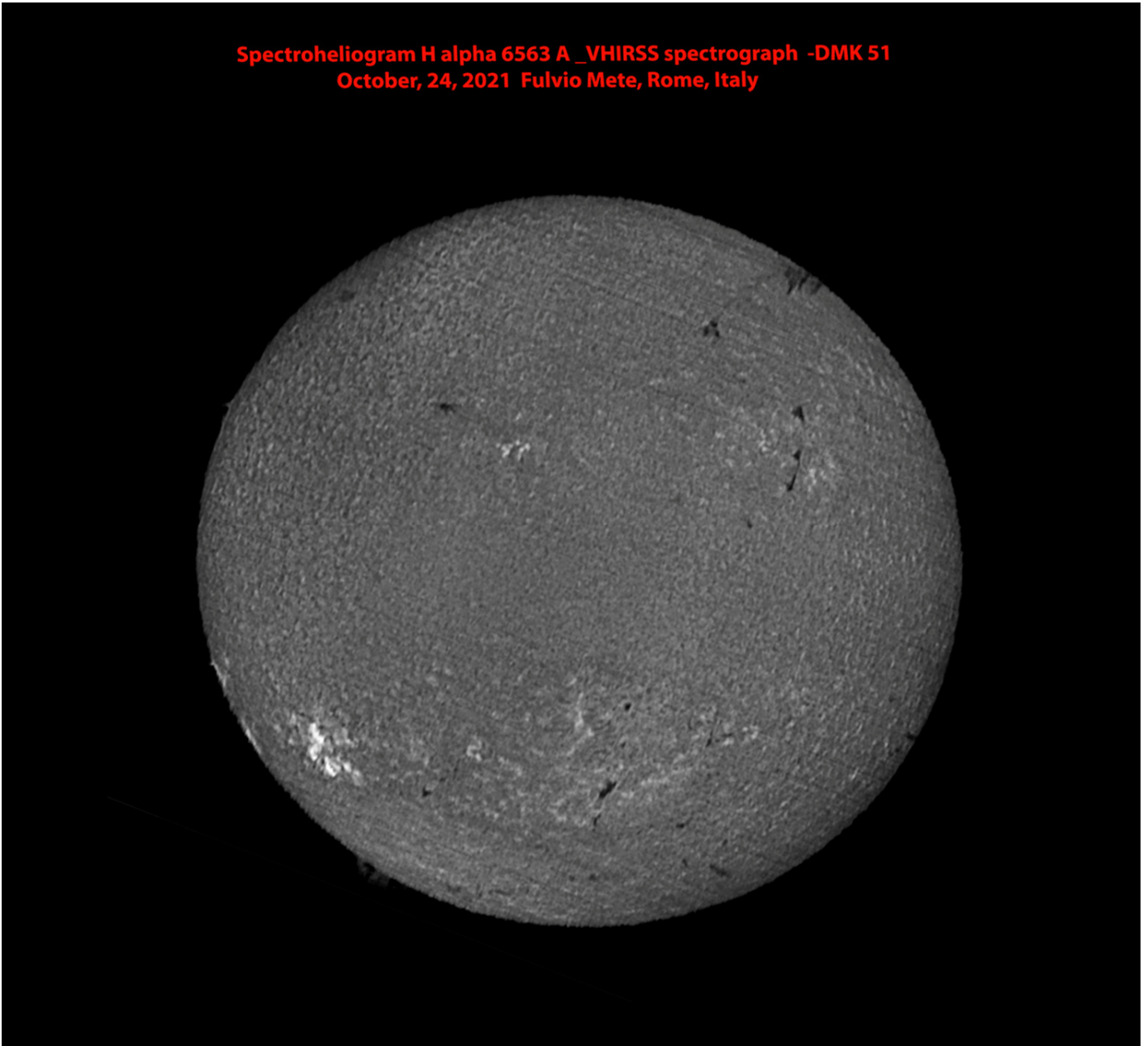
Anche ammesso fosse possibile, allo stato attuale della tecnica, far costruire filtri di una banda passante di 1/25 o 1/50 di Å per un mercato limitato di amatori, questi costerebbero centinaia di migliaia di €.

**Spectroheliogram Ca II H light at 3968 Å -POSS2 Hires spectrograph
camera DMK 51 October, 24, 2021 Fulvio Mete, Rome, Italy**



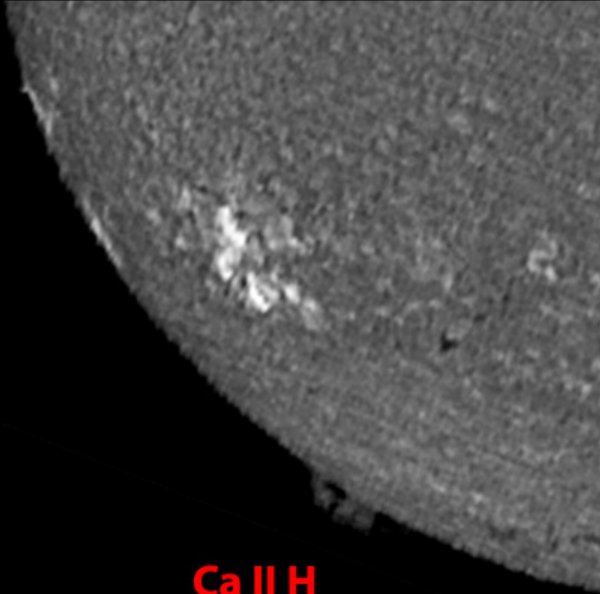


Spectroheliogram H alpha 6563 A _VHIRSS spectrograph -DMK 51
October, 24, 2021 Fulvio Mete, Rome, Italy



Ora, osservando le immagini una prima differenza si nota nelle celle di supergranulazione, molto più grandi ed evidenti in CaII K e H rispetto all'H alpha. La seconda nell'eccezionale visibilità delle plages delle regioni attive nelle prime due rispetto alla terza, con la conseguente più agevole possibilità di distinguerne l'estensione ed i contorni. Per contro, i filamenti sul disco risultano meglio osservabili in H alpha. Una più attenta osservazione delle immagini sopra riportate nelle plages dell'AR 2887 del 24.10.2021 permettono di individuare la maggior estensione e brillantezza di queste.

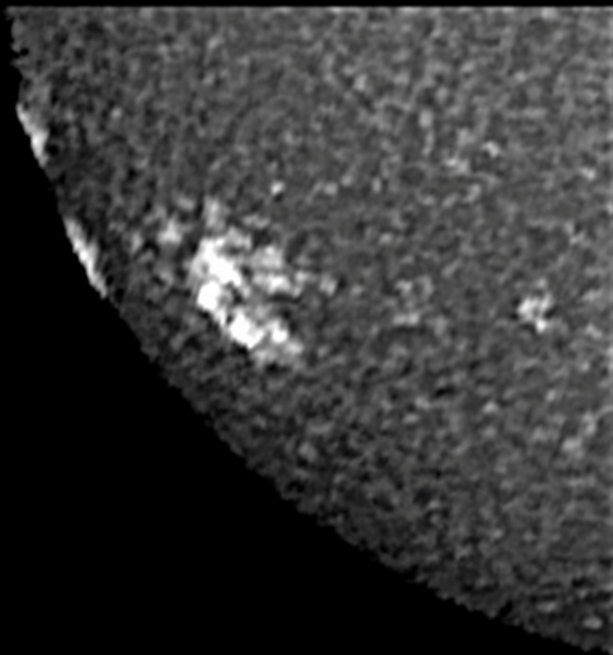
H Alpha



AR 2887 - 24 10 2021

**H alpha- CaII H
comparison**

Ca II H



Questo perché le righe del Calcio, ed in particolare la CaIIK possono essere considerati indicatori attendibili della densità del flusso magnetico nella linea di vista, e di identificazione delle plages attraverso il ciclo e le serie storiche dei cicli solari , come risulta dall'art : I.Ermolli ed altri " Comparison CaII K spectroheliograms time series with an application to solar activity studies" The Astronomical Journal, may, 27 2009.

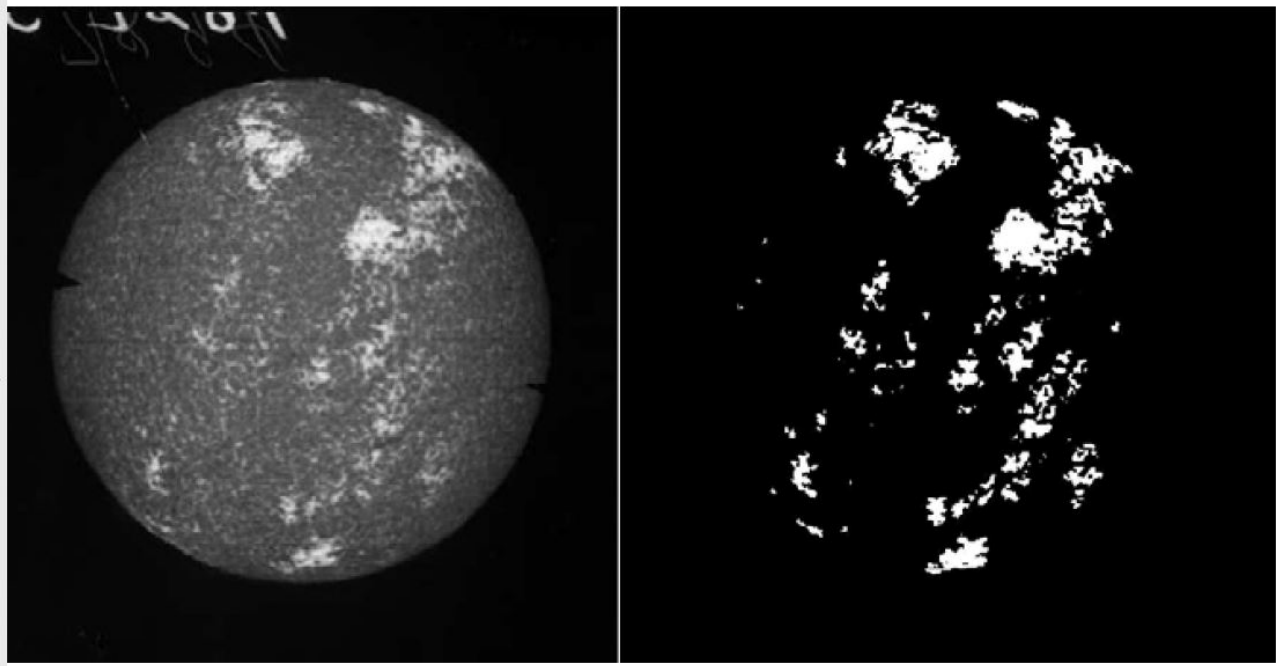
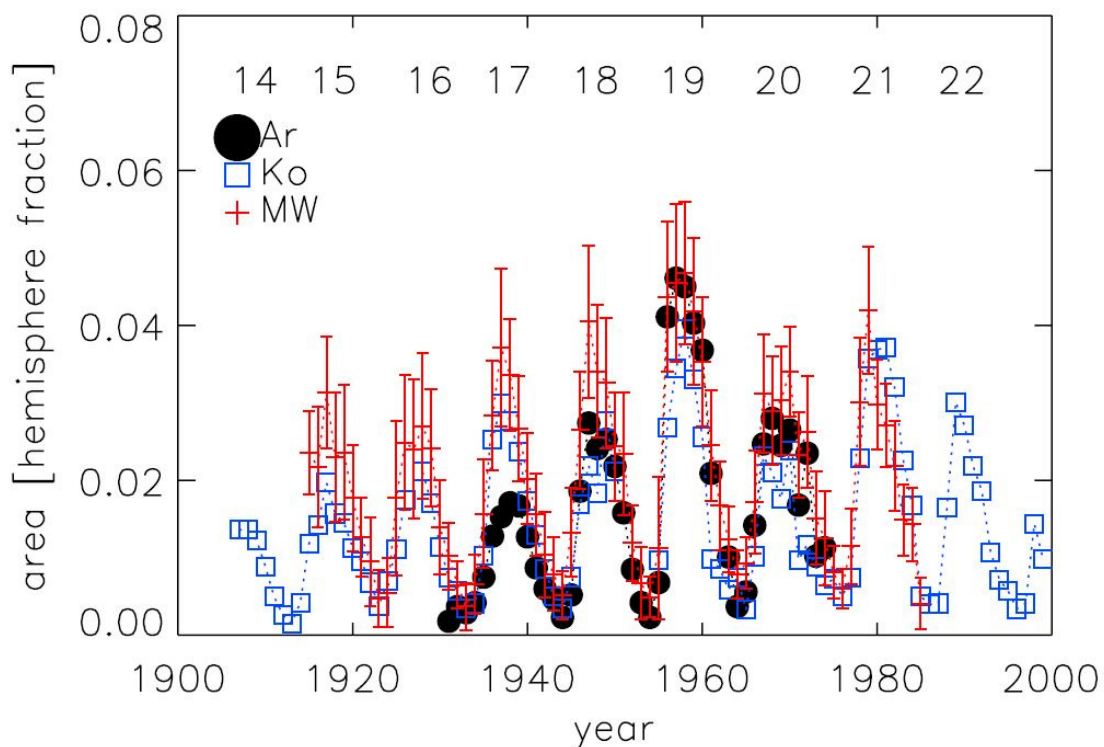
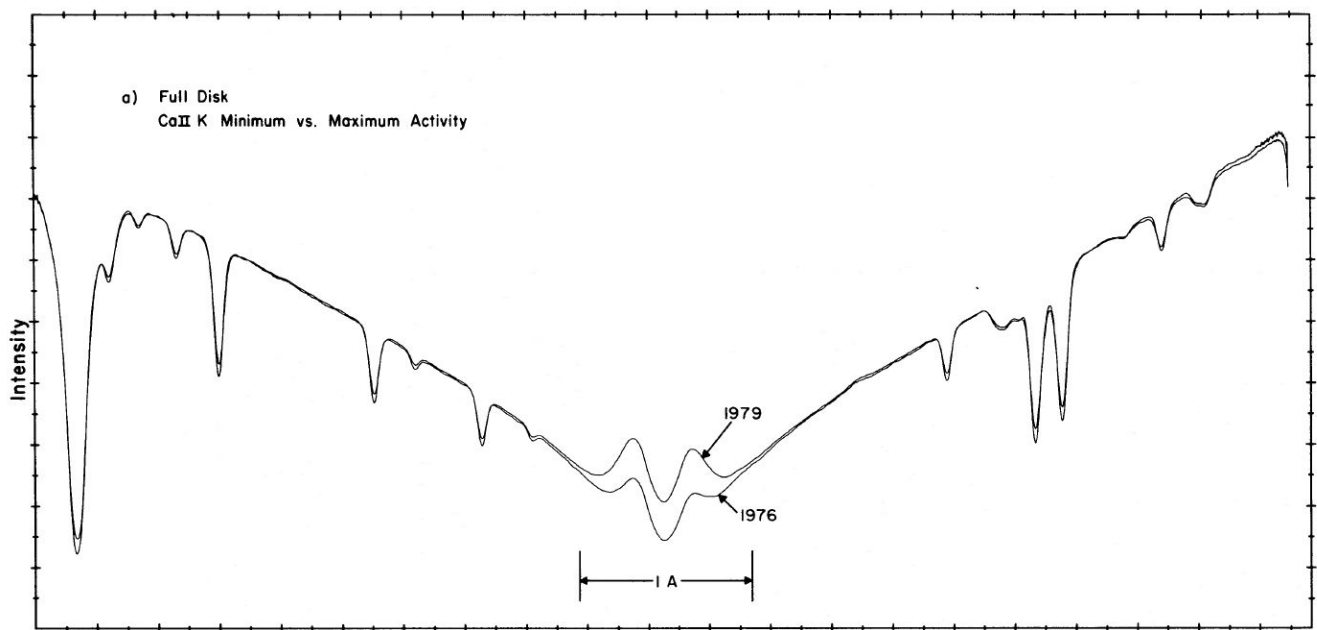


Immagine campione ottenuta dagli autori dell'articolo con l'elaborazione e la digitalizzazione di serie storiche di spettroeliogrammi e col sistema di identificazione della plages descritto nell'articolo stesso.



Variazione annuale dei valori mediani di copertura annuale delle plages in CaII K dal 1900 al 2000 sulla base delle serie storiche degli spettroeliogrammi degli Osservatori di Arcetri, Kodaikanal e Mt. Wilson, processati con tecniche di segmentazione e calibrazione fotografica .

La riga CaII K riveste molta importanza nello studio dell'attività solare e della cromosfera in particolare. L'NSO (National Solar Observatory) di Sacramento Peak in Arizona (USA) ha effettuato per un lungo periodo di tempo, dal 1976 al 2015, un'attività di monitoraggio della riga in questione, valutando, tra l'altro, i parametri dell'indice di emissione (EM) corrispondente alla EW (Equivalent Width) di un intervallo di $1 \text{ \AA}$ centrato sulla riga, ed i valori di intensità del core K3 ($0.15 \text{ \AA}$) della riga stessa. Dall'ottobre 2015 il programma di monitoraggio di Sacramento Peak è stato sospeso, in quanto si utilizzano ora i dati del progetto SOLIS - ISS (Integrated Sunlight Spectrometer), attivo presso l'NSO - Kitt Peak, uno spettrografo capace di risoluzione $R = 300000$ e di un range di lunghezza d'onda da 350 a 1100 nm. Il monitoraggio si estende anche alla riga CaII H.



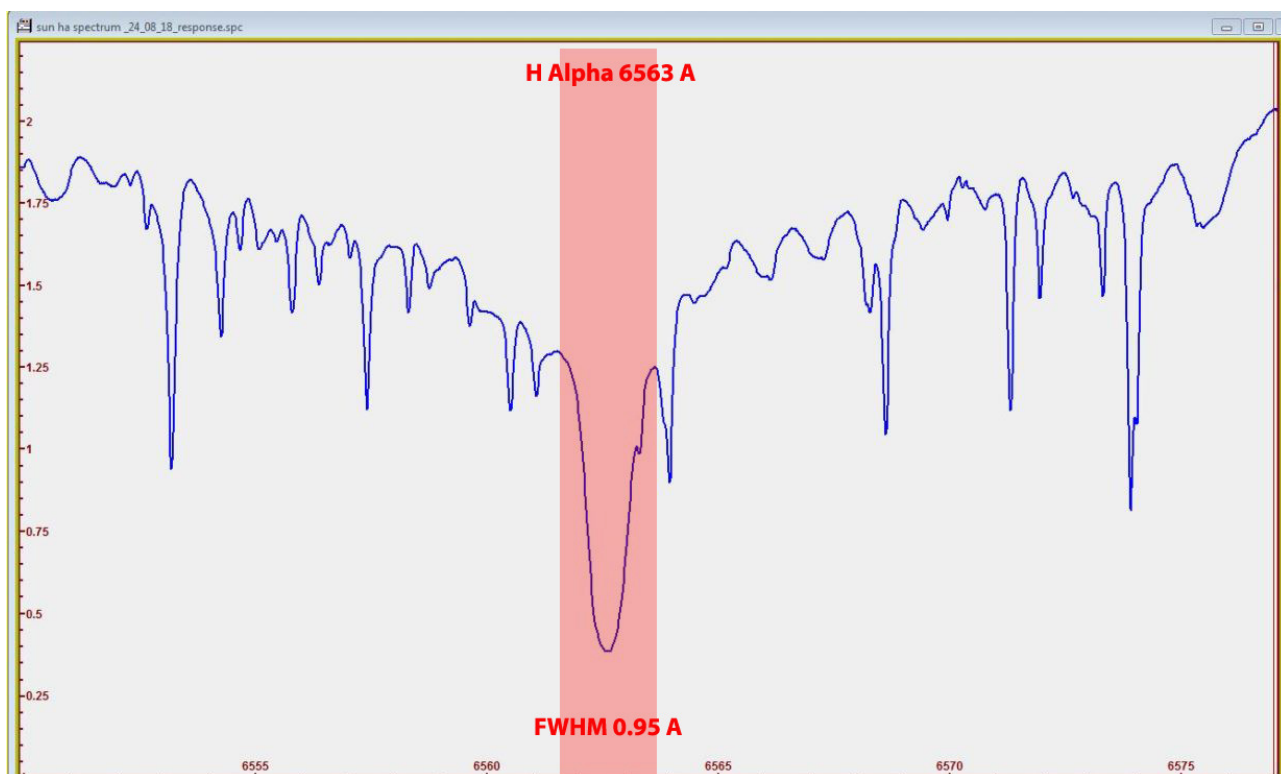
Un esempio della variazione di intensità del core di $1 \text{ \AA}$ della riga CaIIK attraverso il ciclo 21, dal minimo al massimo. (fonte: "Solar luminosity Variations. Calcium K variations in cycle 21"- White e Livingstone- 1981).

La variazione di intensità della riga si riflette anche sulle immagini ottenibili dalla stessa nel corso del ciclo, che risultano quindi migliori intorno al massimo.

Abbiamo quindi due buone ragioni per osservare nelle righe CaII K e H: la forte componente di emissione che provoca le aree brillanti coincidenti con le plages, (che a loro volta coincidono con le regioni attive), ed il cd. Chromospheric network, ovvero con le celle di supergranulazione, coi bordi di queste. Ma la componente in emissione (plages) strettamente legata ai campi magnetici, e la sua intensità talvolta relativamente proporzionale all'intensità di questa. Le celle hanno dimensioni di circa 30000-35000 Km e durata di circa 24 h, mentre quelle fotosferiche (granuli) hanno dimensioni di 1000 Km e durata media di 8-10 min. I granuli si osservano a livello fotosferico, i supergranuli nell'alta fotosfera e cromosfera.

Le bande passanti e la FWHM

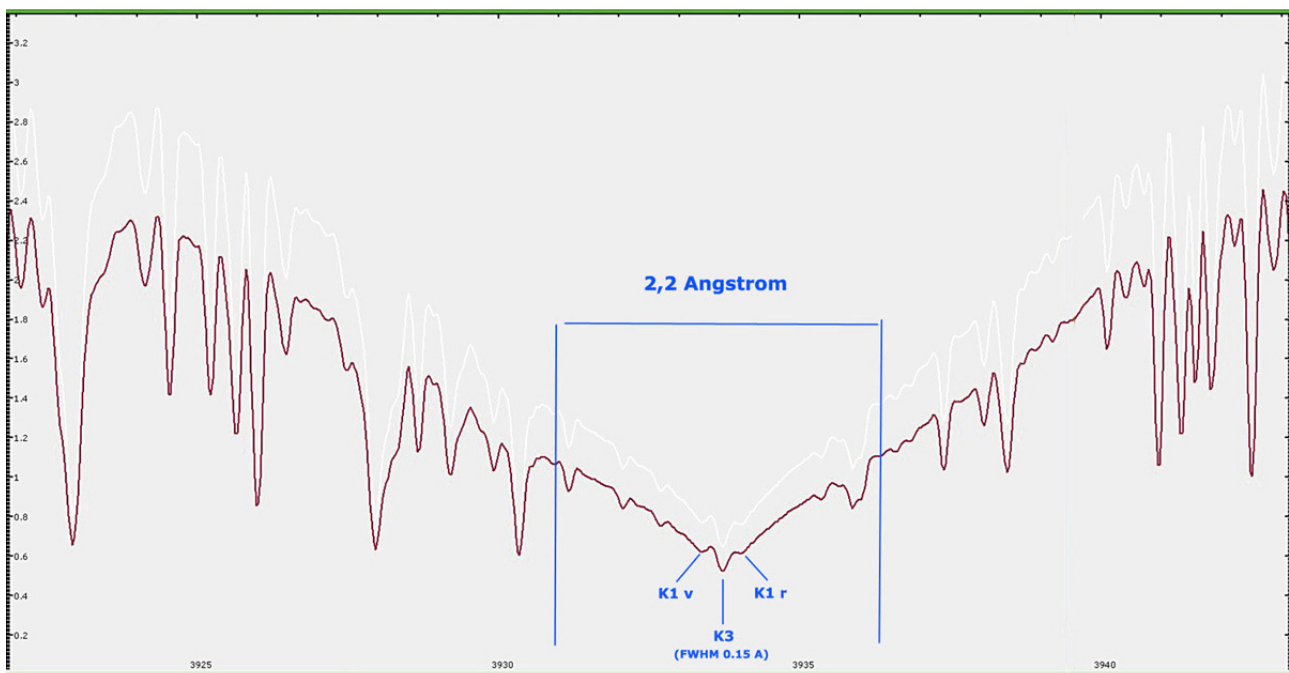
Una questione poco conosciuta da chi non possiede uno spettrografo, ma determinante per la qualità delle immagini, è la banda passante alla quale viene osservata una data riga dello spettro solare. L'ampiezza della riga naturale è misurata in Å e può essere assimilata alla FWHM del profilo spettrale. Nello spettro bidimensionale considerato ai fini della composizione di uno spettroeliogramma, tale valore può essere lievemente superiore.



La riga H alpha, ad es, misurata col mio spettrografo WHIRSS alla dispersione di 0.018 Å/pixel, ha un profilo spettrale con una FWHM di circa 0.95 Å. Nella pratica, la riga può estendersi, ai fini spettroeliografici, fino a 70 frames da 1 pixel dal centro riga, e quindi a $0.018 \times 70 = 1.26$ Å. Diciamo comunque che mediamente tale riga ha un'ampiezza di banda di circa 1 Å. Questo spiega perché i filtri solari delle varie marche (Lunt, Coronado, Daystar) partono da tale valore di banda scendendo verso quelli inferiori, dato che man mano che

la banda osservata si restringe, migliora la qualità delle immagini, il loro contrasto, la visibilità di particolari e...il prezzo dei filtri stessi.

Il profilo spettrale e l'ampiezza di banda della riga CaII K è notevolmente superiore, più del doppio, e si aggira sui 2.2 Å, compresi i punti di stazionarietà K1 ed il centro riga K3 che ha un'ampiezza di 0.15 Å. Da un certo punto di vista, quindi, i filtri in luce Calcio ionizzato non hanno, come l'H alpha, bisogno di bande particolarmente strette per dare immagini contrastate e visivamente piacevoli del disco solare. Pressochè analoga quella della riga CaII H.



Come osservare Il Ca II K e H nell'UV

Gli strumenti per l'osservazione e la ripresa CCD o CMOS nell'UV vicino da parte degli amatori sono essenzialmente due: i filtri commerciali e la spettroelioscopia. I primi sono alla portata di tutti, o perlomeno di tutti coloro che abbiano sufficienti disponibilità economiche. La seconda, della quale ho parlato in un altro mio testo, mentre non richiede un forte esborso di denaro, richiede tuttavia un minimo di conoscenze specifiche e, dato che sul mercato consumer non esistono strumenti dedicati, una discreta capacità di autocostruzione, dal progetto alla realizzazione. Purtroppo, nonostante abbia cercato in tutti i modi di stimolare la costruzione di tali strumenti, a tutt'oggi resto l'unico astrofilo in Italia a dedicarsi a tale branca dell'osservazione solare con una certa sistematicità.

Ma parliamo dei filtri

I Filtri per Il Calcio in UV

1-Daystar Calcium line filters

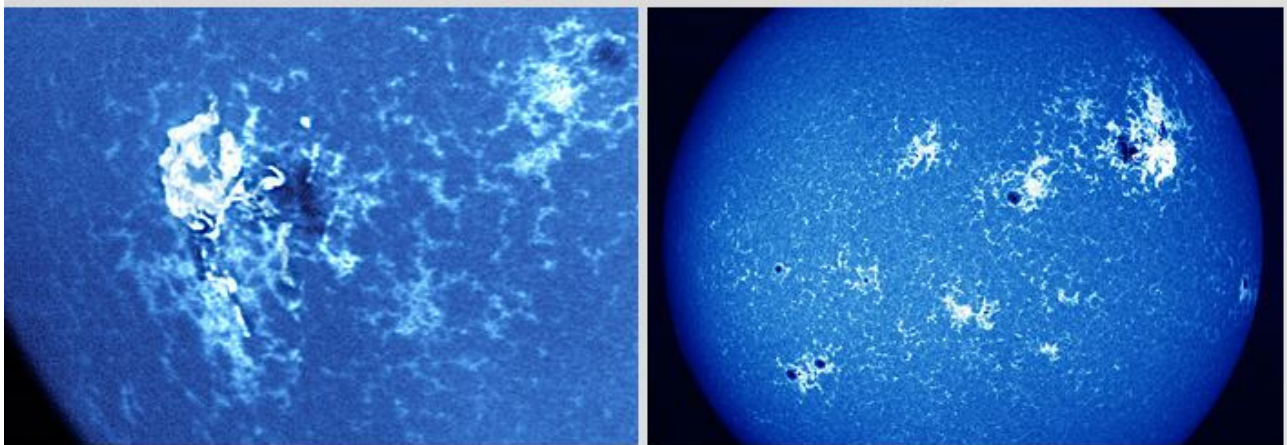
I filtri Daystar delle serie "Calcium line" possono essere considerati come le Ferrari dell'osservazione in luce CaII. La casa americana fornisce due tipi di filtri a seconda delle righe del calcio da osservare.

Il primo è il "CaII H Calcium line" centrato a $3968 \text{ \AA}$ che è dedicato, per la sua ampiezza di banda di $5 \text{ \AA}$ e la sua vicinanza al visibile, anche all'osservazione visuale. Il calcium H è venduto in Italia a 4963 €.



Il secondo filtro della serie è il Calcium K line quantum, che, a detta della Daystar è dedicato ad un uso più professionale ed ha una Bandpass molto più stretta del primo , circa $2.0 \text{ \AA}$, ma il prezzo è elevato, aggirandosi in USA intorno ai 6700 \$ immagini fonte Daystarfilters.com.





DayStar 2.0 Å Calcium K-line filtergrams taken June 8, 1982
with a 125mm aperture telescope at 3000mm prime focus.

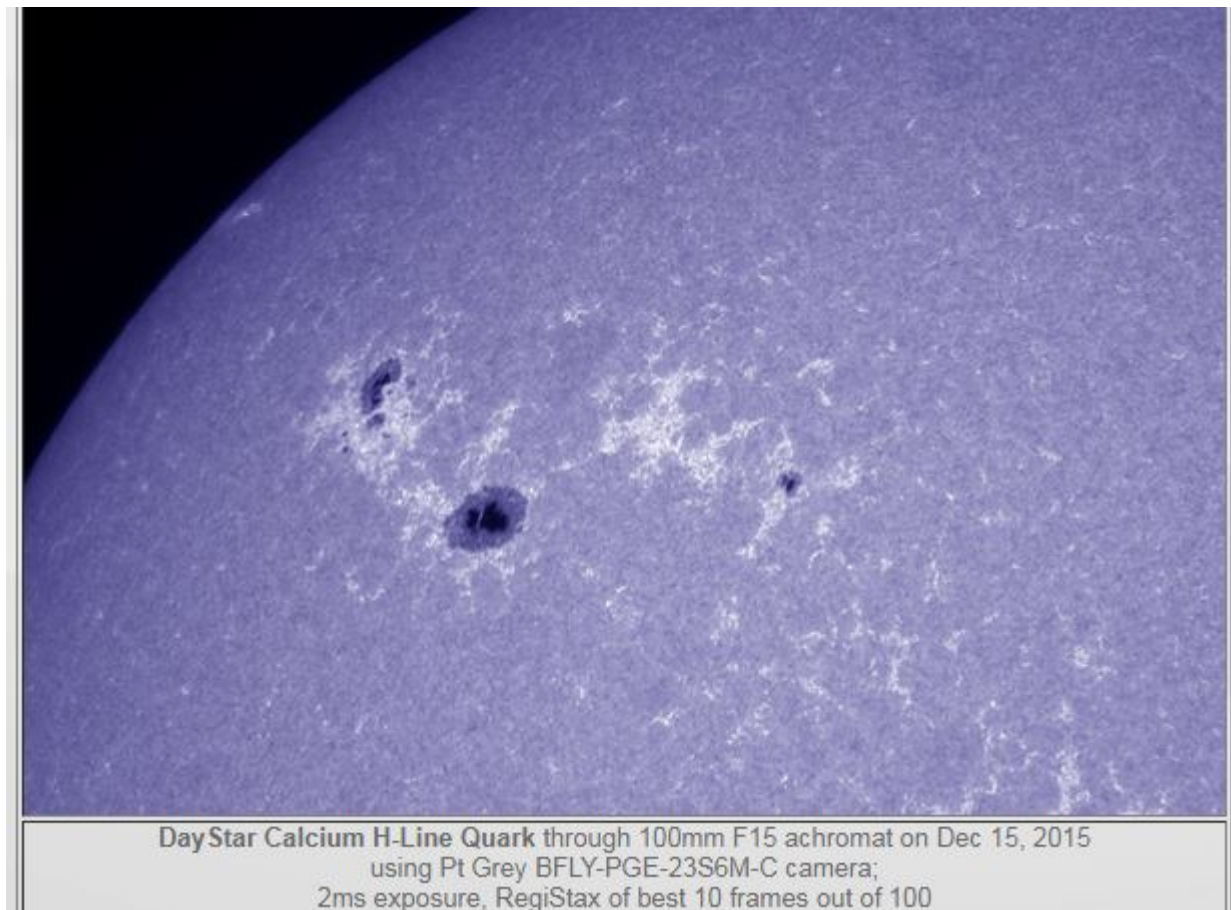
La Daystar tiene a precisare che per l'osservazione con tali tipi di filtri non è necessario un fascio collimato a f 30, ma va bene anche un f 15 o 20. La casa costruttrice precisa anche che non è necessario un ERF davanti al telescopio (preferibilmente un rifrattore) ma (cosa strana) basta un "hot mirror" UV-IR cut: dico cosa strana perché alcuni UV-IR cut come il Baader Planetarium tagliano lo spettro da 400 nm in giù e non lasciano osservare alcuna riga del Calcio: occorrerebbe quindi fare attenzione che il filtro tagli da 390nm circa in giù. Il calcium H è venduto in Italia a 4963 €.

2- Daystar Quark Ca H filter

Dopo il successo dell'omonimo filtro per la riga H alpha, nelle due versioni "prominence" e "chromosphere" la Casa americana ha introdotto un filtro specifico per l'osservazione nel Calcio, e precisamente nella riga H, con una banda passante di circa 5 Å, per rendere possibile anche l'osservazione visuale.



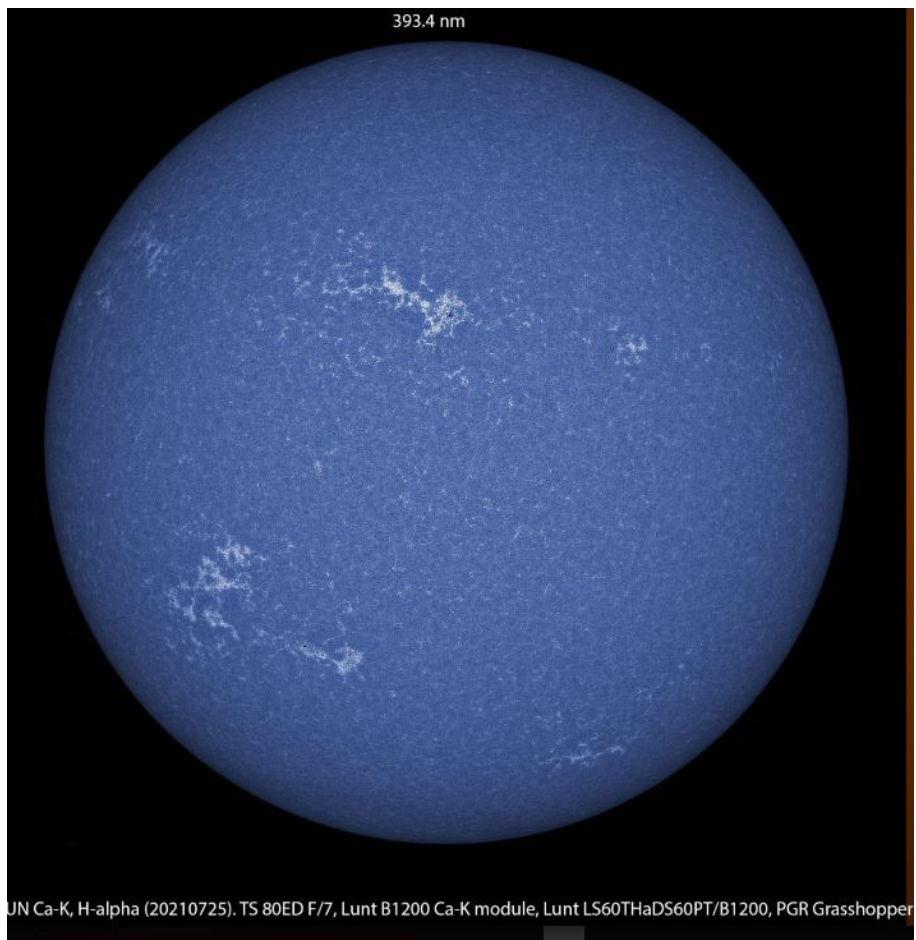
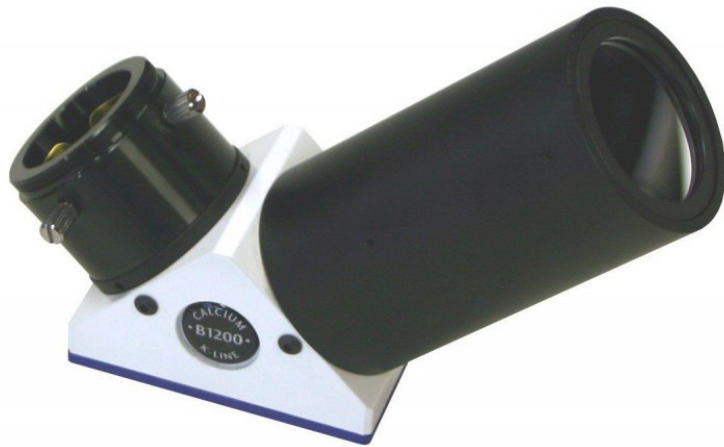
Detto filtro ha un range di funzionamento con rifrattori da $f\ 7$ a $f\ 30$, e può funzionare con un pacco batterie od una presa di rete. Anche qui si raccomanda l'uso con un Uv Ir cut per sicurezza, ma vale il discorso di prima, manca la barlow telecentrica 4.3 X del modello H alpha. Il punto forte del filtro in questione è il prezzo, limitato a circa 1300 € rispetto alle versioni più blasonate.



Sopra un'immagine solare ottenuta col Daystar Calcium HY line Quark (fonte Daystarfilters .com)

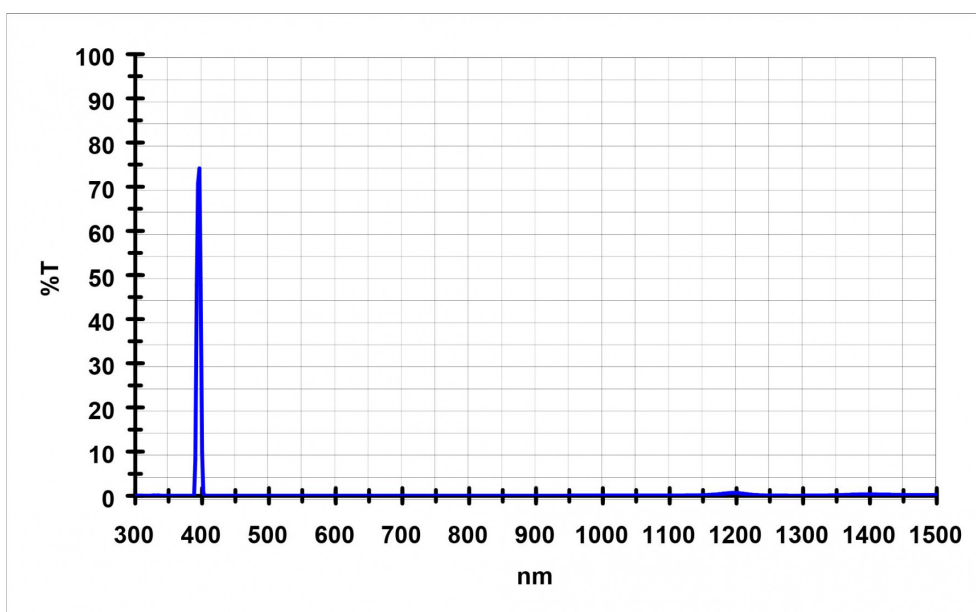
Lunt Calcium K module

Il modulo Ca K Lunt è simile ad un diagonale stellare e, a detta del costruttore, trasforma un telescopio (rifrattore) sino a 100 mm di apertura e 1080 di focale in un telescopio solare Ca K. All'interno del modulo è inserito un filtro a banda stretta $< 2.4 \text{ \AA}$, quindi all'incirca l'ampiezza di banda della riga. Lunt dichiara che, data la scarsa sensibilità dell'occhio a quella banda spettrale, il modulo è dedicato prevalentemente all'imaging. Il costo attuale è di 1760 € con Blocking filter da 1200 e 1200 € con BF da 600. Di seguito un'immagine del modulo e una del sole ripreso con esso, fonte Lunt Solarsystems.com.

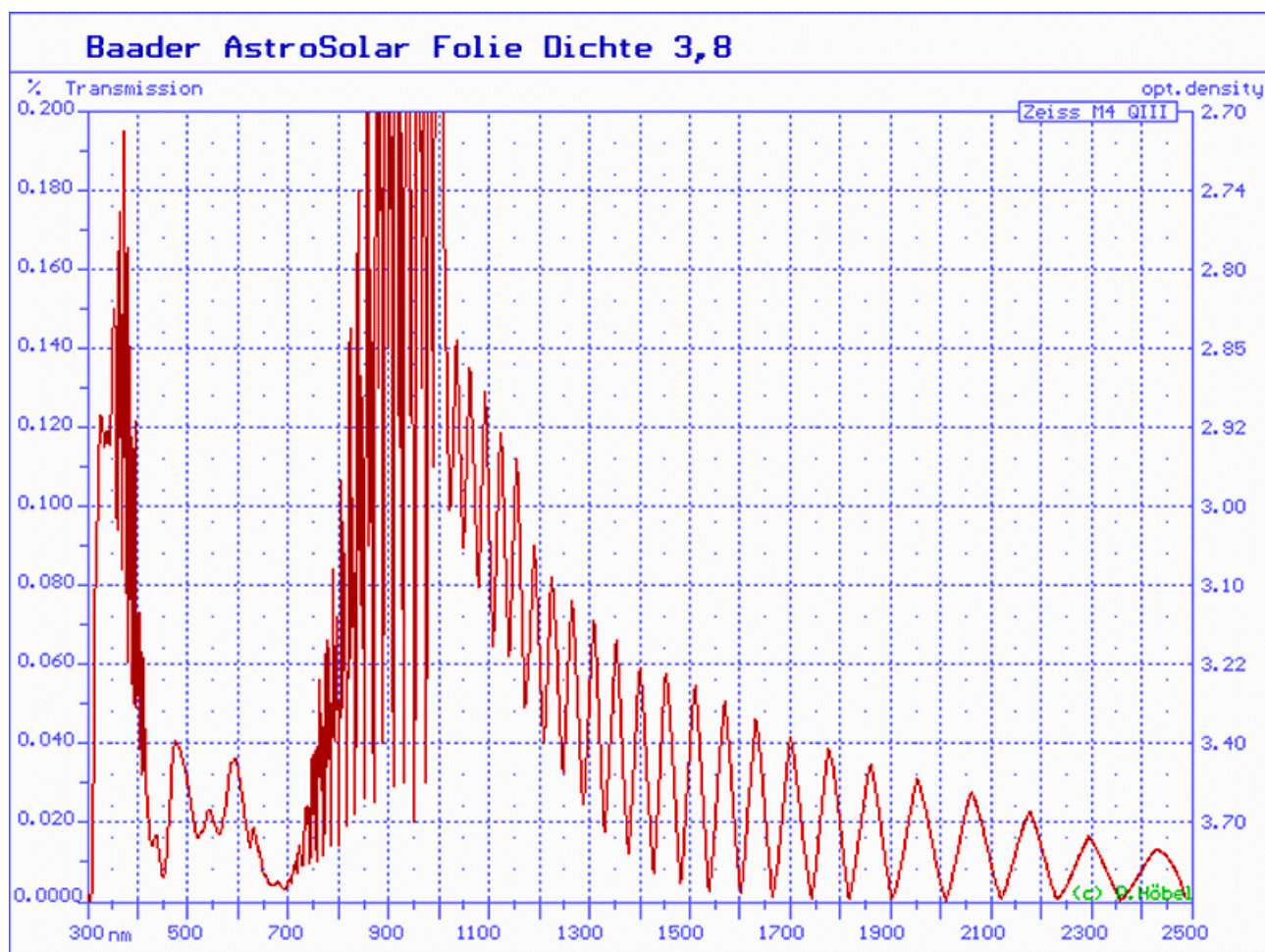


Filtro Baader K-Line 31.8

Questo accessorio della Baader Planetarium è senz'altro il modo più economico di osservare il sole in luce Calcio, dato il costo di soli 295 €. Tuttavia esso può essere usato solo per imaging, come raccomanda la casa, ed in abbinamento ad un filtro Baader Astrosolar densità 3.8. La casa non dichiara esplicitamente la FWHM, ma questa dovrebbe aggirarsi sugli 8nm, 80 Å circa da quanto si evince dal grafico sul sito della Baader.



Esso normalmente viene venduto in bundle con un foglio di Astrosolar 3.8 (fotografico) con il quale va usato.



Ora, a parte la banda piuttosto larga, suscita perplessità l'accoppiamento con un filtro Astrosolar 3.8, che è essenzialmente un filtro per la fotografia della fotosfera.

Recentemente la Baader ha messo sul mercato una versione "double stacked" del filtro (ovvero due filtri messi insieme in cella) che, a parità di FWHM, dovrebbero dare maggior contrasto.

Telescopi CaK Coronado

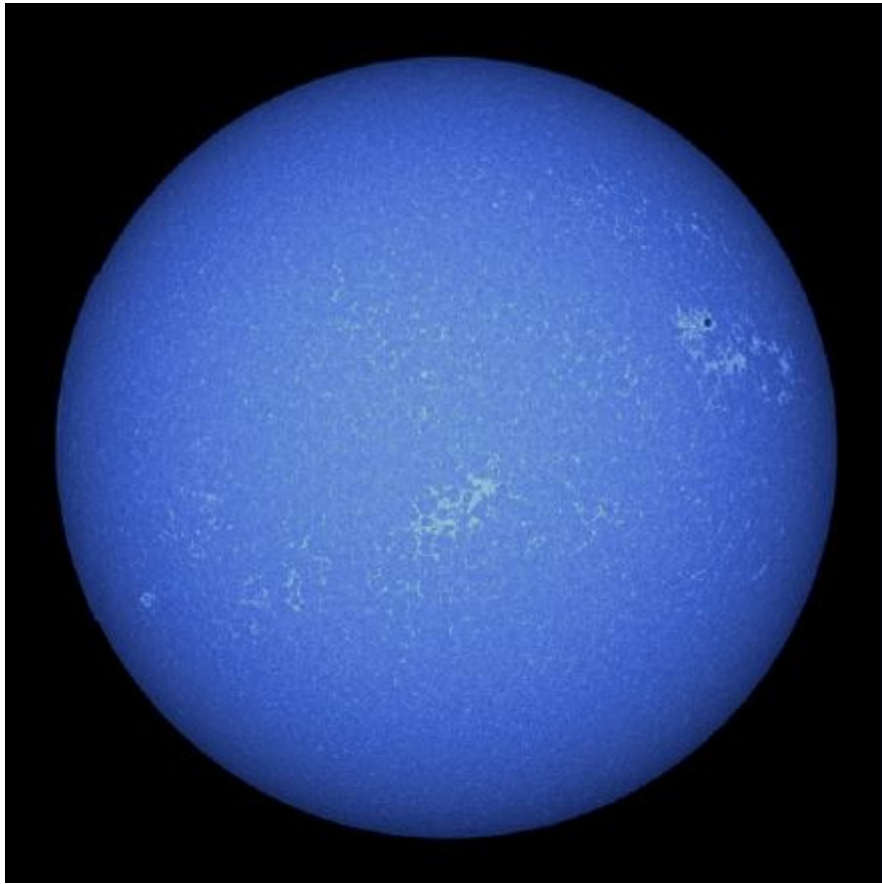
La Coronado, che oggi fa parte del brand Meade, ha prodotto negli scorsi anni due telescopi per l'Osservazione in luce CaK, che purtroppo, nonostante fossero prodotti validi, non hanno avuto entrambi molta fortuna e sono oggi fuori produzione e rinvenibili solo nel mercato dell'usato, nonostante la loro resa decorosa nell'imaging: si tratta del Coronado PST CaK ed il coronado Solarmax CaK. La mancata accoglienza del mercato è stata probabilmente dovuta al fatto che molti acquirenti, nonostante le avvertenze della casa produttrice, si aspettavano la possibilità di un'osservazione visuale, che non c'era o era ridotta al minimo solo per coloro dalla vista più acuta.

La disavventura di questo modello di telescopio CaK, specie se centrati a 3933 Å e di banda relativamente stretta, mi induce ancora una volta a sottolineare che i risultati migliori e sicuri con tale tipo di strumenti si hanno solo nell'imaging e non nell'osservazione visuale.

Coronado PST CaK

Si trattava di un prodotto analogo al ben più noto PST H alpha, un telescopio da 40 mm di apertura e 400 mm di focale, con una band pass di 2.2 Å centrata sulla riga CaII K a 3933 Å.





Coronado Solarmax 70 CaK

Si trattava di una versione con obiettivo da 70 mm e 400 mm di focale, un F 5.7 anziché 10 e con le stesse caratteristiche del PST CaK, centrato a 3933 Å. Anche per questo strumento, nonostante il più favorevole rapporto F/D, la Coronado faceva presente che esso era dedicato essenzialmente all'imaging.



In conclusione, tutti i filtri che ho citato si prestano bene alla ripresa CCD o CMOS del sole, con immagini piacevoli, a patto di non pretendere da loro risultati di livello professionale che solo la spettroeliografia può dare.

Quale telescopio?

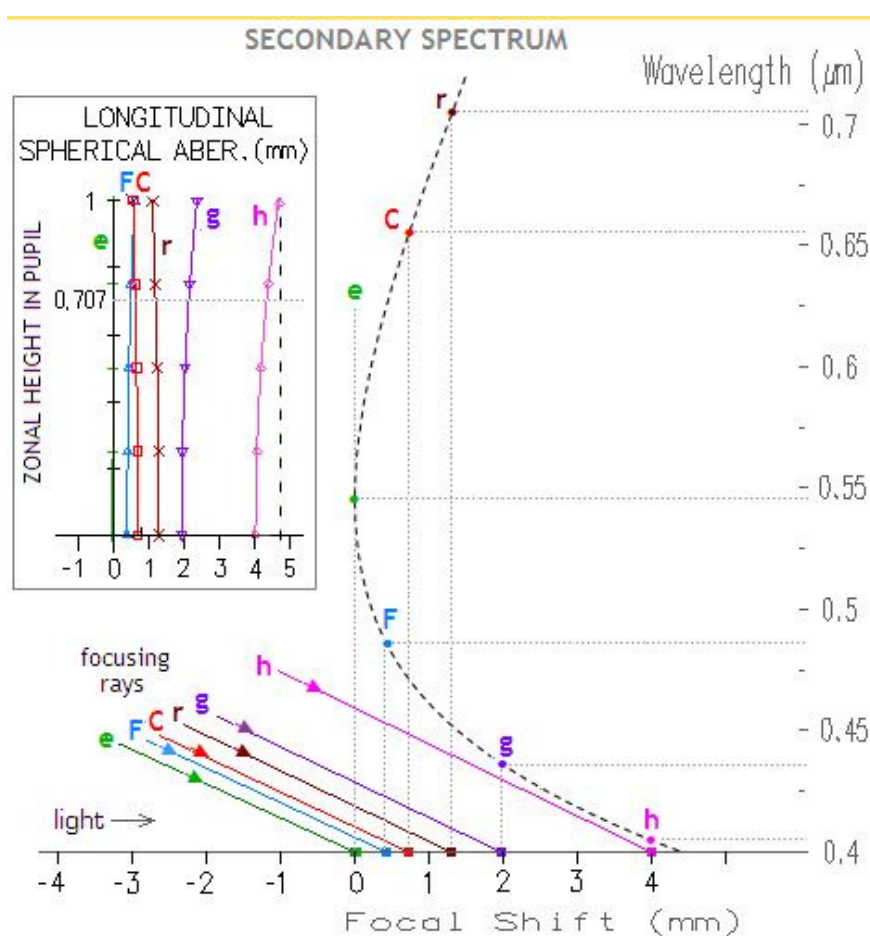
Ammettiamo di essere venuti in possesso del nostro filtro CaK ideale, il prossimo problema sarà: su quale telescopio lo montiamo?

A parte il filtro Baader CaK che può essere montato al fuoco di qualsiasi tipo di telescopio a patto di averlo dotato di un filtro Astrosolar 3.8 davanti all'obiettivo, ed i Coronado che sono già dei rifrattori con filtri integrati, la questione si porrà coi filtri Daystar e Lunt.

La risposta immediata sarà: un buon rifrattore di adeguato diametro e rapporto F/D. Lunt consiglia, sul suo sito web, a seconda del "B" scelto, un rifrattore da 100 mm di apertura e da 600 a 1800 mm di focale.

Fin qui tutto bene, ma quale rifrattore, un semplice acromatico, uno con lente ED, un apo a tripletto, o cosa?

La risposta più comune, è che, trattandosi di luce monocromatica a banda stretta, anche un rifrattore acro va bene, specie se a medio rapporto F/D. Ma è proprio così? o, per meglio dire è così anche per il vicino UV come per l'H Alpha? In realtà no, in quanto i rifrattori acromatici di una certa qualità, a partire dai famosi Zeiss, sono corretti per la riga C dell'idrogeno, l'H alpha, appunto, quindi osservando in questa riga a banda stretta l'immagine sarà quasi della stessa qualità di costosi apo, come si osserva nell'immagine che segue (fonte : telescope Optics.net).



Nella zona spettrale di 400 nm ed inferiore le cose cambiano, e parecchio, lo shift cromatico e l'aberrazione cromatica longitudinale sono massimi, ma, negli strumenti di non eccelsa qualità è alto anche lo sferocromatismo (l'aberrazione sferica zonale indotta dal cromatismo). Non per nulla nel mio spettroeliografo POSS2 il (buon) rifrattore acro Celestron 70/400 è stato dotato di un filtro interferenziale centrato su 400 nm che contiene al minimo cromatismo e sferocromatismo.

Ma, detto ciò, ammettendo si abbiano buone disponibilità economiche e si voglia scegliere un vero rifrattore apocromatico, come fare la scelta giusta tra

un bombardamento di obiettivi apo, semi apo, FPL 51, FPL 53, tripletti ad aria, ad olio e chi più ne ha ne metta?c'è da far restare disorientato anche un astrofilo esperto che non abbia una laurea in ottica.

Cercherò quindi di riassumere i principali vetri usati per la fabbricazione di obiettivi astronomici

-Vetri alla fluorite naturale (CaF_2) , con un numero di abbe di 94.99 sono sino a poco tempo fa stati al top della classifica dei vetri di eccellenza.La ditta giapponese Takahashi li ha usati sino a poco tempo fa per gli obiettivi a doppietto dei suoi rifrattori, ed ora, si per la sua difficoltà di lavorazione che per la delicatezza della fluorite,li sta sostituendo con vetri ED.Personalmente ho posseduto un rifrattore Takahashi 128 Fs che si è dimostrato eccellente nelle riprese solari, e posseggo tuttora un FS 60 C.Da qualche hanno, vuoi per la difficoltà di lavorazione,vuoi per la delicatezza , vuoi per questioni commerciali la fluorite è stata da molti produttori sostituita con la fluorite sintetica (FPL 53).Alcuni produttori, come TEC e APQ la usano ancora nei loro obiettivi.IL suo pregio, nel nostro punto di vista,oltre alla stabilità e l'eccellente correzione del colore è la trasmissione da 130 nm a 10 μ , che rendono gli obiettivi con tale vetro assolutamente adatti alle riprese in CaK.

-Vetri "Super ED" FPL 53, prodotti da O'Hara in Giappone, con un numero di Abbe di 94.94, hanno prestazioni molto vicine alla fluorite naturale, tanto che vengono detti "fluorite sintetica", meno costosa della fluorite naturale, più facile da lavorare e chimicamente più stabile della fluorite naturale, al punto che la sta sostituendo.Obiettivi a tripletto che usano tali vetri sono eccellenti ed anno una perfetta correzione cromatica sia al fuoco che fuori.Anche i doppietti con tali vetri ED si comportano molto bene: io possiedo tre Skywatcher 80 ED che uso per i miei spettroscopi e ne sono molto soddisfatto.

-Vetri ED FPL 51 prodotti da O'Hara in Giappone con un numero di Abbe di 81.54, sono inferiori , come correzione, agli FPL 53, ma sono meno costosi e molto stabili chimicamente, al punto che mantengono la forma meglio dei vetri FPL 53 ai cambi di temperatura, ma mostrano del colore nelle immagini fuori fuoco.

-H-FK61 sono vetri ottici prodotti in Cina con caratteristiche molto simili agli FPL 51.

Quindi, a parità di apertura e rapporto focale del rifrattore, gli obiettivi a doppietto alla Fluorite naturale lavorano un po' meglio di quelli con gli O'Hara FPL53, e questi hanno prestazioni superiori a quelli con FPL 51.

Detto ciò, la differenza tra obiettivi FPL 53 o a CaF_2 a due lenti e quelli a tre lenti è tanto avvertibile da compensare il notevole costo in più?

Sicuramente la correzione cromatica e l'assenza di sferocromatismo in un buon obiettivo a tripletto è massima, sia al fuoco che fuori fuoco, ma ammesso esista una differenza, questa è ancora così rimarchevole in luce

monocromatica? Secondo me no, e lo dico da possessore di un eccellente rifrattore a tripletto TMB LZO da 115 mm a f 7 con vetri OK4 (equivalenti agli FPL 53) spaziato in aria, ma ho notato una correzione simile in monocromatico (H α) in uno Skywatcher 120 ED a doppietto FPL 53. Certo, nel violetto una minima differenza a favore del tripletto ci sarà, ma a mio avviso non tale da compensare la differenza di costo.

Altro argomento di cui si parla negli obiettivi a tripletto è la spaziatura tra le lenti, se in aria o ad olio. Dal punto di vista qualitativo, con gli eccellenti coating anti riflesso attuali, se una volta c'era una minima differenza a favore della spaziatura in olio rispetto a quella in aria, oggi tale differenza non sussiste, mentre i primi sono avvantaggiati rispetto ai secondi per quanto riguarda i tempi di acclimatazione, notevolmente più rapidi.

Un breve accenno ora alla focale da usare.

Che la sensibilità delle immagini fornite da un telescopio al seeing atmosferico e locale dipenda dalla lunghezza d'onda, penso sia cosa accertata da molti astrofili, me compreso, nel senso che aumentando la lunghezza d'onda diminuisce la sensibilità al seeing, ed il contrario: Le migliori immagini planetarie da me ottenute sono state sempre quelle in banda IR, mentre quelle in blu erano spesso inguardabili.

Morale della favola, mentre nelle riprese solari in luce bianca ed H α ci si può spingere con la focale sino a livelli notevoli (anche 10 mt), nella banda CaK non è così, in quanto nella relativa banda spettrale il seeing diurno, di per sé già terribile, lo è ancora di più, pregiudicando qualsiasi tentativo di alta risoluzione. A mio avviso conviene, in tale banda, non superare i 2-2.5 metri di focale per un'apertura media di 100-120 mm.

I rifrattorini che io uso per proiettare l'immagine solare sulla fenditura degli spettroscopi per effettuare la scansione del disco solare hanno mediamente un'apertura di 60 mm e 400 mm di focale, e nonostante ciò i giorni di seeing eccellente si contano in un anno sulla punta delle dita.

Concludendo: a mio avviso un rifrattore con doppietto ED FPL 53 da 100 mm di apertura f 8 o 10 potrebbe essere una scelta adeguata alle riprese del sole nella banda CaIIK e H. La copertura del disco solare ottenuta varia in funzione delle dimensioni del sensore della camera usata.

La spettroeliografia digitale

Non mi dilungherò troppo su un argomento, che, seppur mi sta a cuore, ho affrontato con abbondanza di particolari nel mio libro "**Spettroeliografia digitale, una finestra sul sole**", liberamente scaricabile al link :

<http://www.lightfrominfinity.org/Libro%20di%20spettroeliografia%20digitale/Libro%20Spettroeliografia.htm> ed al quale rinvio gli interessati.

In questa sede riassumerò i vantaggi (e gli svantaggi) di un tale approccio all'osservazione solare.

Premesso che la spettroeliografia classica (imaging del sole nelle varie righe del suo spettro) risulta troppo complicata anche per un auto costruttore evoluto, capace e con disponibilità di un 'officina meccanica, quella digitale si avvale di uno spettrografo a media-alta risoluzione per ottenere, con specifici software, quindi per via digitale, quello che sino ad alcuni anni fa si otteneva con sofisticati sistemi elettro-meccanici, ovvero la scansione del disco solare in una data riga di interesse.

Data l'attuale indisponibilità sul mercato di strumenti specificatamente dedicati all'osservazione solare con spettroeliogrammi, si tratta quindi di auto costruirsi uno spettrografo di potere risolutivo adeguato al compito di spettroeliografo digitale.

Ora, anche se può sembrare molto complicato, in realtà non lo è affatto, ed una configurazione tipo Littrow, modificata o non, come i miei VHIRSS, HIRSS2, POSS2 sono sicuramente alla portata di un astrofilo dotato di una buona capacità manuale, un minimo di attrezzatura casalinga, e voglia di raggiungere un risultato che gli darà senz'altro molte soddisfazioni.

Il costo di una tale soluzione, come ho precisato nel testo di cui sopra, si aggira mediamente tra i 950 e 1450 € a seconda della scelta dei componenti, usati o nuovi.

Mi si potrebbe opporre la considerazione : ma a quel prezzo compro un Daystar Quark o un modulo Lunt, che danno buone immagini, perché scervellarmi ed imbarcarmi in una tale impresa?

La risposta è semplice ed immediata:

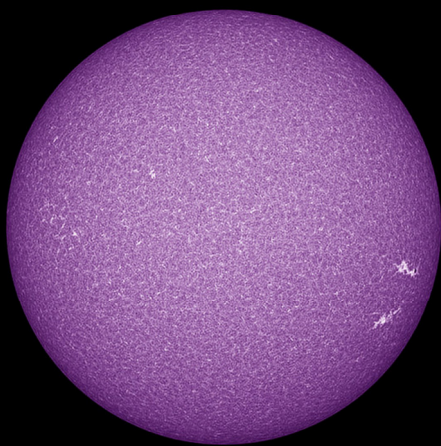
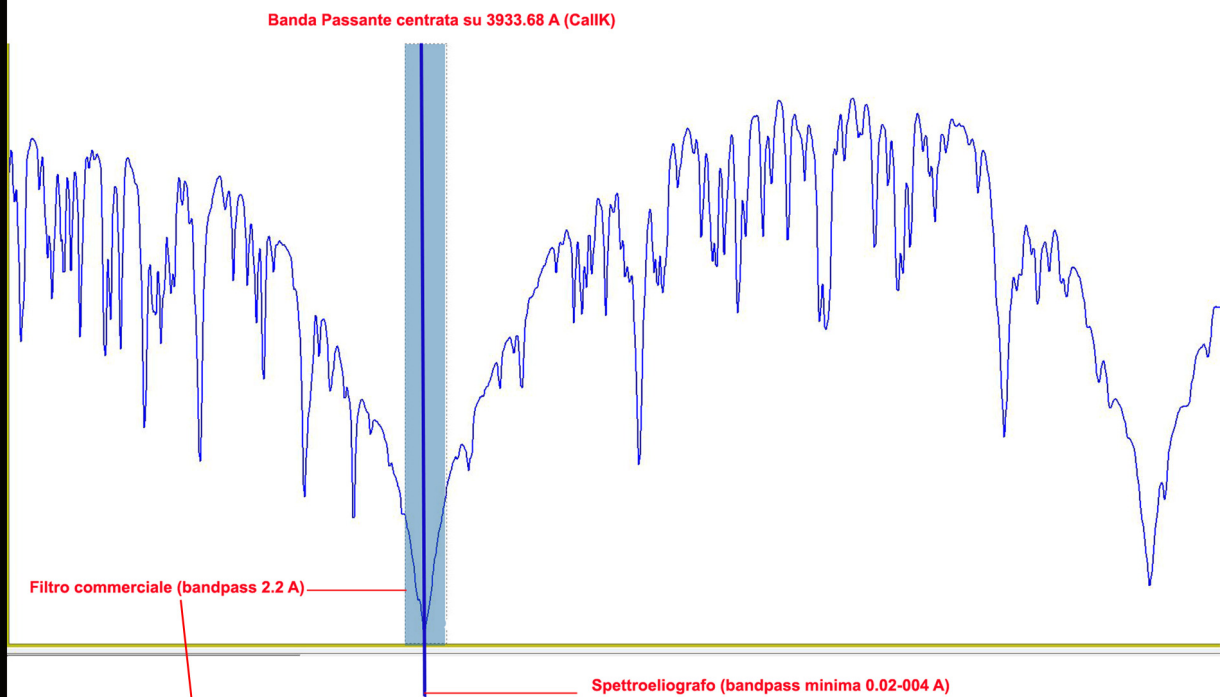
1- Lo strumento in questione, non soltanto permette di ottenere immagini in CaII K o H, ma in qualsiasi riga, dall'UV all'IR, ed equivale ad avere non solo un insieme di filtri a banda stretta (alcuni dei quali peraltro inesistenti nel mercato consumer), ma anche un potentissimo strumento di indagine di livello professionale. Dico di livello professionale in quanto, una volta appreso il suo funzionamento, il suo output equivale grossomodo a quello ottenibile con una torre solare professionale.

2- l'ampiezza di banda di uno spettroeliografo di medie dimensioni come quelli in mio possesso, è di gran lunga superiore a quella dei filtri citati. Per fare un esempio, il modulo Lunt CaK ha una banda di 2.4 Å. Il mio spettroeliografo POSS2, specificatamente dedicato all'UV ha un'ampiezza di banda massima di 0.04 Å (pari alla dispersione per pixel con la camera DMK 51), ovvero 1/25 Å. Si tratta di un valore di *sessanta* volte superiore a quello del Lunt.

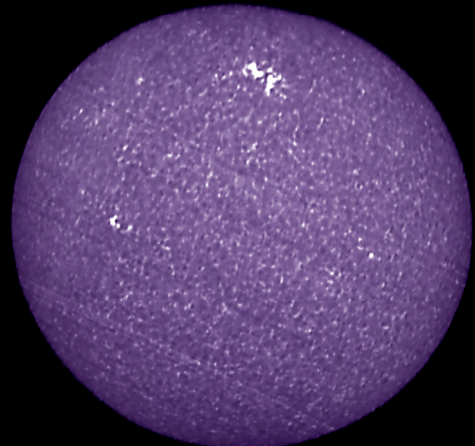
3- per la relativa ampiezza di banda , i filtri commerciali non sono in grado di isolare il centro riga, il CaII K3 della riga K, ampio solo 0.15 Å, e quello della riga H, cosa che uno spettroeliografo digitale può fare con la massima facilità.

Qui di seguito riporto un esempio di confronto tra le immagini di uno strumento commerciale da 2.2 Å ed il mio POSS2, con una banda passante integrata simile a quella del filtro (media di circa 56 frames ad 0.04 Å l'uno). La supergranulazione degli strati alti della cromosfera, quella del CaIIK3 appare più evidente nel mio strumento, ma quasi invisibile in quello commerciale in quanto viene amalgamata nell'emissione del resto della riga, data la limitata bandpass. Le due immagini non sono state riprese nello stesso giorno. Per contro la qualità di immagine del filtro commerciale è superiore, al prezzo di una minore visibilità dei particolari.

Cosa intendo per particolari? Le plages, che risultano più intense e diffuse, i filamenti, che spesso non si osservano nelle immagini coi filtri, la supergranulazione, evidente negli spettroeliogrammi e minima nei filtri. Del resto ciò è normale: come si osserva nel diagramma precedente la riga CaIIK va dai 500 km sulla fotosfera ai 1800-2000 km circa, dove ha un aspetto molto contrastato, i filtri fanno la media, gli spettroeliogrammi, a meno di non volerlo fare, no.



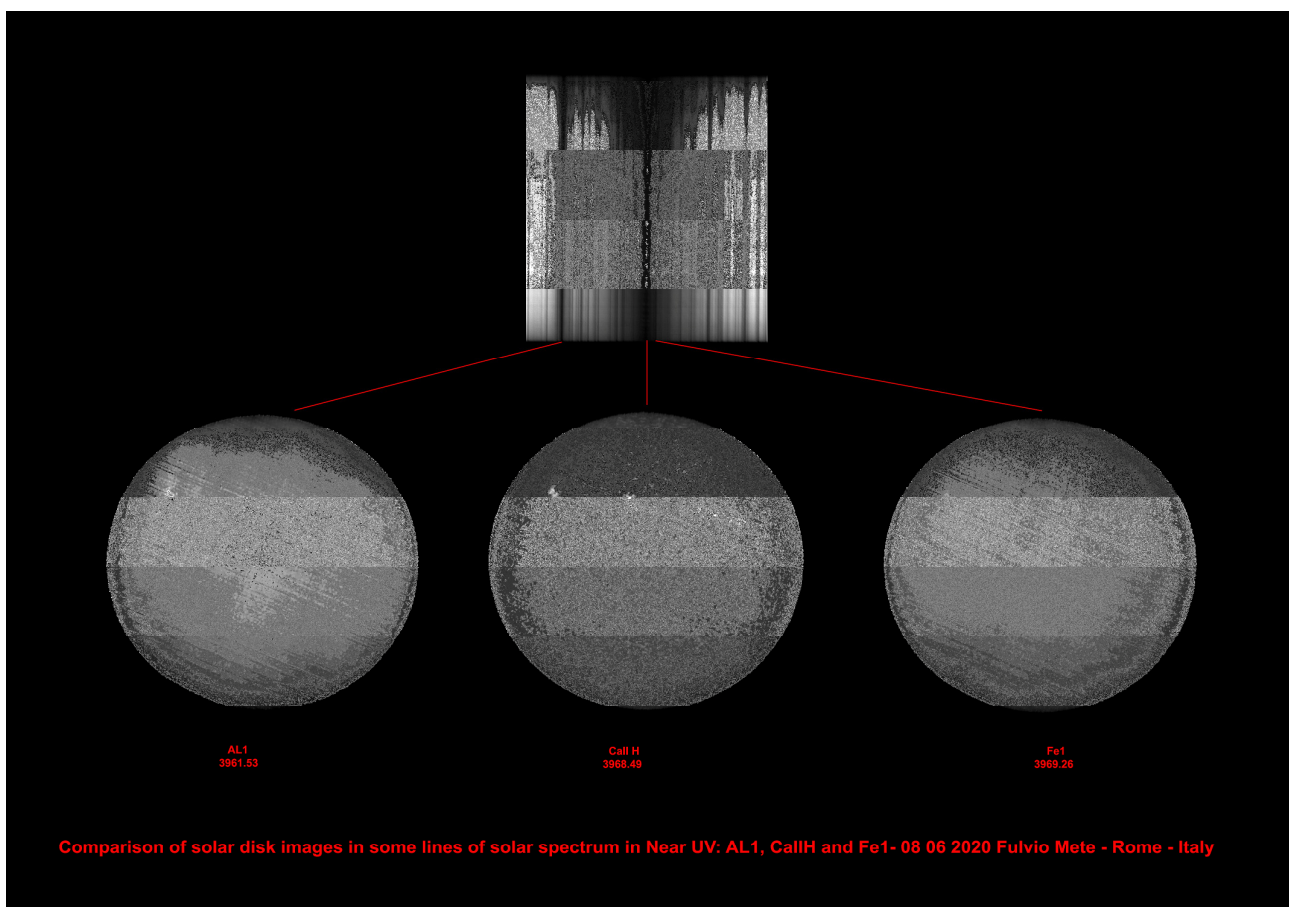
Commercial CaIIK Solar filter



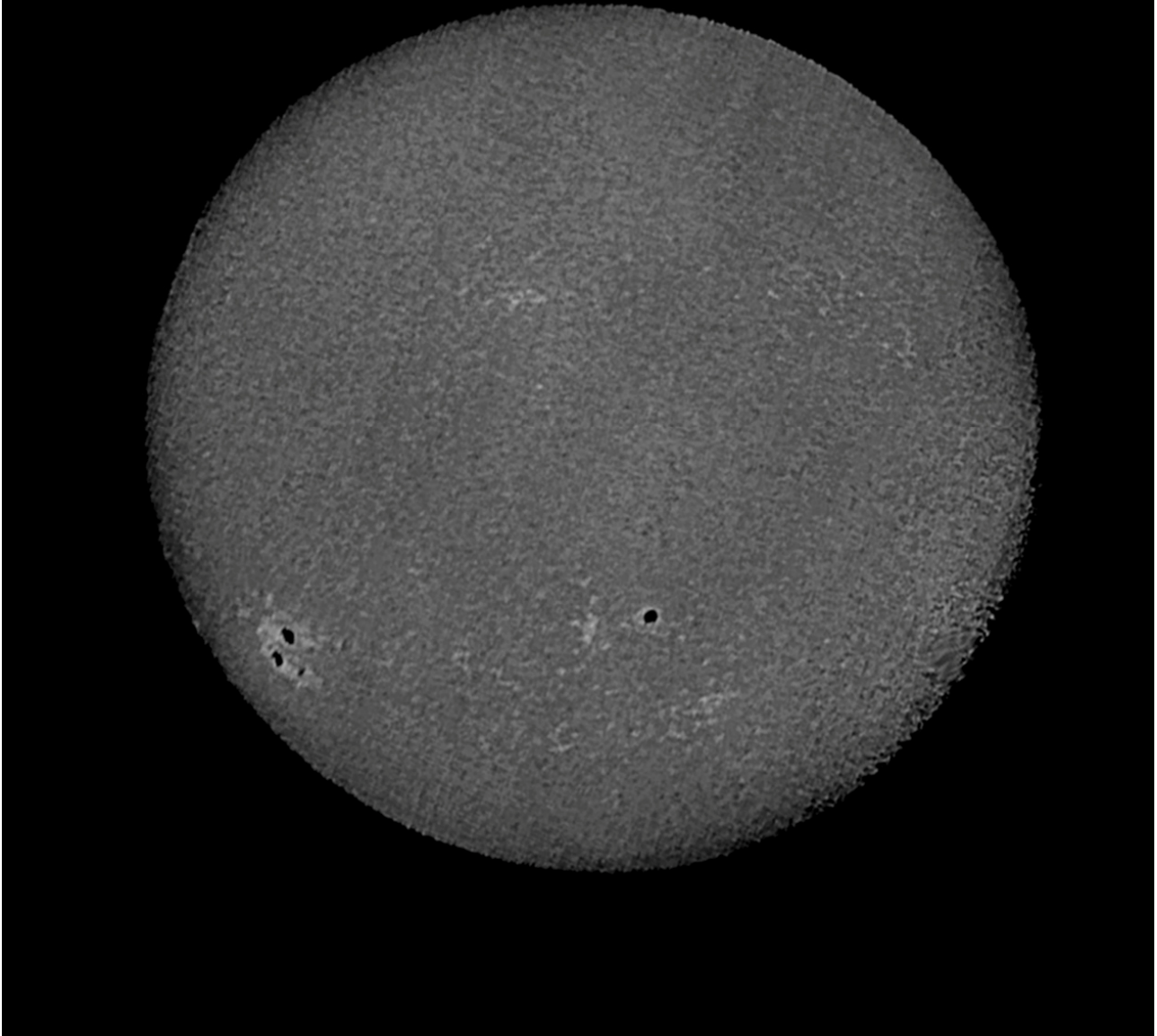
Digital spectroheliograph POSS2 CaII K image

Mi si potrà quindi opporre che la qualità delle immagini ottenute coi filtri è superiore, e questo è vero, ma al prezzo della perdita di una certa percentuale di particolari ,visibili negli spettroeliogrammi, e non nelle immagini dei filtri commerciali.

3-Con la spettroeliografia si possono ricavare immagini in righe piuttosto sottili e di relativamente bassa intensità, come quelle dei metalli Fe1 e Al1,Si1 nell'UV, ovviamente precluse a qualsiasi filtro commerciale.Nell'immagine che segue uno spettroeliogramma nella riga dell'Al1 , alluminio neutro, a 3961 Å, come si osserva nelle immagini seguenti.



**Spectroheliogram Al 1 light at 3961 A -POSS2 Hires spectrograph
camera DMK 51 October, 24 , 2021 Fulvio Mete - Rome-Italy**



4- La spettroeliografia avanzata può produrre , se adeguatamente trattata, risultati interessanti come, ad es, la misurazione dell'irradianza UV e dell'andamento delle dimensioni della supergranulazione attraverso il ciclo (Vd il paper "Variation of supergranule parameters with solar Cycles" -Subhamoy Chatterjee ed altri, The Astrophysical Journal-june 2017). Nell'immagine che segue, la misurazione della scala media dei supergranuli per 100 anni, dal 1907 al 2007, dal 14 al 23 ciclo per le Regioni attive (AR) del disco e per le Regioni in quiete (QR) sulla base degli spettroeliogrammi CaIIK dell'Osservatorio solare di Kodaikanal, India.

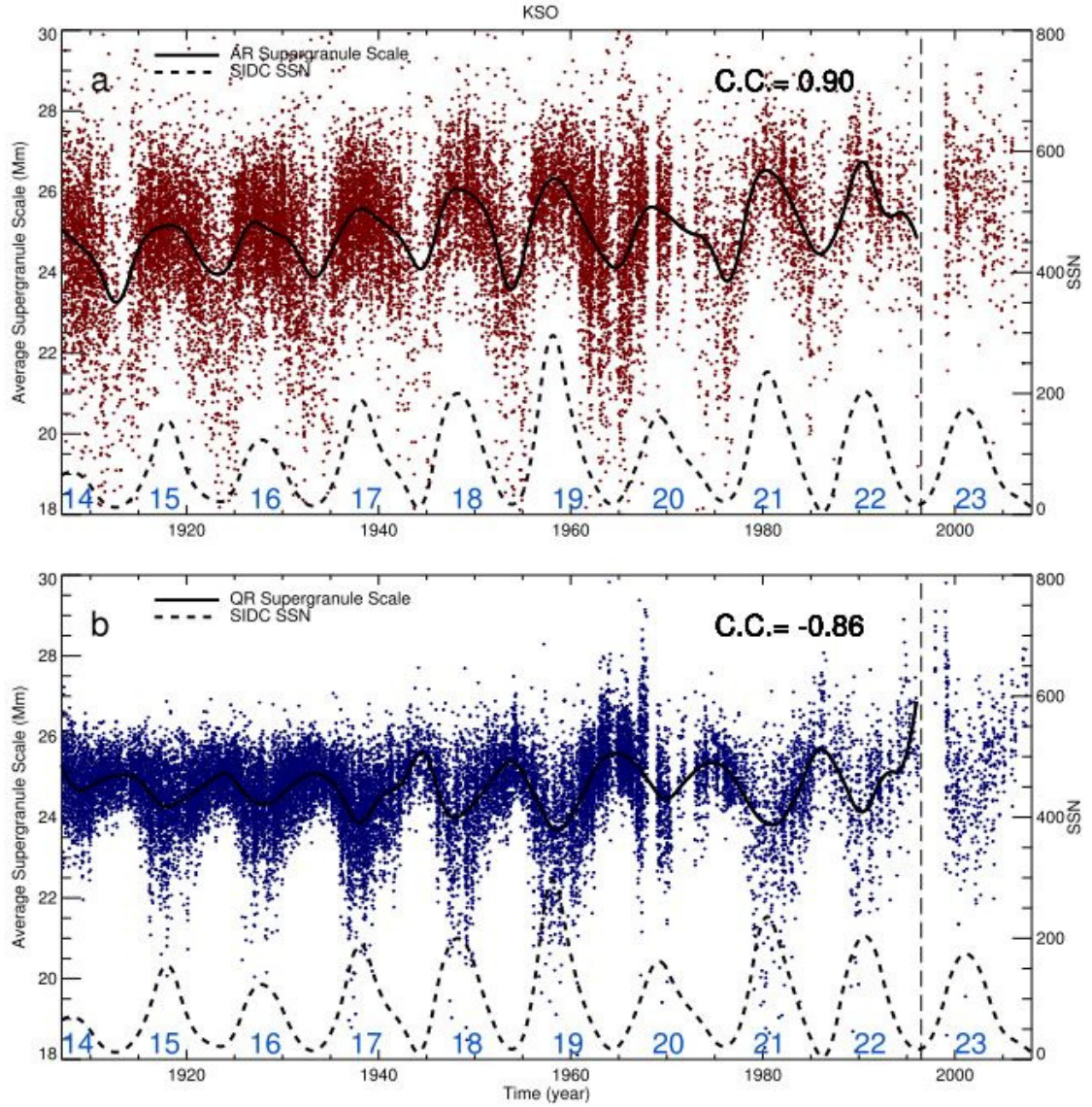


Figure 5. Cyclic variation of mean supergranule scale for the AR (panel a) and for the QR (panel b). Dots correspond to the measured mean scale values from individual images, whereas the solid curves represent the smoothed versions of the same. The SSN cycle is shown with a dashed curve. Individual cycle numbers are marked in blue. The color theme, i.e., results from ARs in red and results from QRs in blue, is followed throughout this paper.

Ciò senza considerare che uno spettrografo serve anche a fare spettri, a misurarli, a misurare la banda passante ed il centraggio in banda dei filtri, solari e non, e che , a differenza dei filtri dedicati, può ottenere immagini solari in tutto lo spettro visibile, e lievemente oltre, come abbiamo visto, in base alla QE della camera usata.

POSS2

Lo strumento da me usato per la spettroeliografia nell'UV è POSS2, uno spettrografo in configurazione Littrow modificata ponendo la fenditura fuori asse e lo specchio di rinvio alla base della scatola, in modo da variare lievemente l'angolo di incidenza rispetto a quello di diffrazione che nei Littrow vale 0 e permettere un controllo sufficiente dello smile (curvatura delle righe) nello spettro stesso ed un leggero aumento della risoluzione. POSS2 (POrtable Solar Spectroscope 2) costituisce in pratica un clone di VHIRSS, in quanto costruito con gli stessi identici criteri, anche se come telescopio è stata usata prima un'ottica SW da 80 mm di D e 400 mm di focale (f5) e poi una Celestron da 70 mm f 400 (f 5.7), entrambe acro: per bypassare i problemi derivanti dallo spettro secondario per le riprese nel vicino UV (righe CaII K e H) alle quali il tele è dedicato, prima del fuoco è stato inserito un filtro a banda relativamente stretta (ca 50 nm) centrato su 400 nm.

L'ottica dello spettroscopio è uno Skywatcher 80 ED, in pratica uguale all'Orion 80 ED di VHIRSS. Lo strumento è lungo 110 mm e pesa 8 Kg.

Per i dettagli su tale tipo di strumenti rinvio al mio testo citato in precedenza, vorrei qui sottolineare che l'assemblaggio di un tale strumento è avvenuto in casa, avvalendosi di un trapano a colonna ed i consueti attrezzi di bricolage, senza ricorrere in alcun modo ad un'officina esterna, modificando componenti meccanici già in mio possesso e quindi ad un costo irrisorio, pari a quello di uno SW 80 ED d'occasione (200 €) più un acro Celestron 70/400 (50 €) ed un reticolo olografico Edmund da 2400 l/mm (250 €), quindi all'incirca 500 € in tutto. Ovviamente non tutti hanno componenti meccanici disponibili, e dovranno ricorrere ad un'officina, e per questo le mie previsioni "ufficiali" di spesa prevedono una forbice tra 950 e 1450 €.



Il suo acronimo "POrtable Solar Spectrograph" vale a chiarire che esso è facilmente trasportabile ed installabile su una montatura media come G11, Eq6, Avalon M Zero. In compenso il suo output non fa rimpiangere quello di strumenti professionali, come le torri solari, di ben altro costo e dimensioni. Un ulteriore miglioramento potrebbe essere quello di sostituire l'acro 70/400 con un piccolo apo da 60-70 mm, , cosa che farò non appena se ne presenterà l'occasione.

Fulvio Mete

Roma, 5 novembre 2021

Riferimenti

Ottica Scientifica Merli-Alfredo Merli
ZWO ASI

<https://www.youtube.com/watch?v=UawuoecJfio>

Daystar filters

Lunt solar filters

Meade-Coronado filters

Baader Planetarium

Telescope optics .net

"Variation of supergranule parameters with solar Cycles" -Subhamoy Chatterjee ed altri, The Astrophysical Journal-june 2017).

" Spettroeliografia digitale, una finestra sul sole"

: I.Ermolli ed altri " Comparison CaII K spectroheliograms time series with an application to solar activity studies"

Solar luminosity Variations .Calcium K variations in cycle 21"-White e Livingstone- 1981).