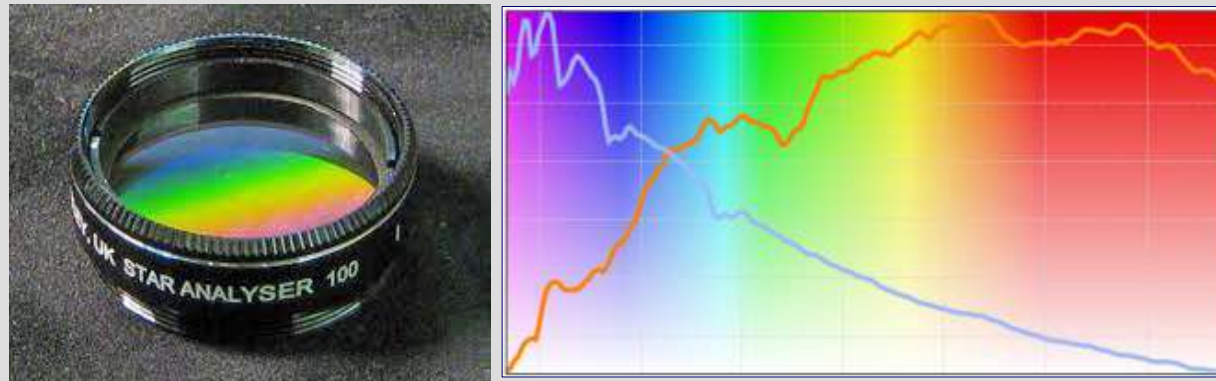


Spettroscopia con Star Analyser

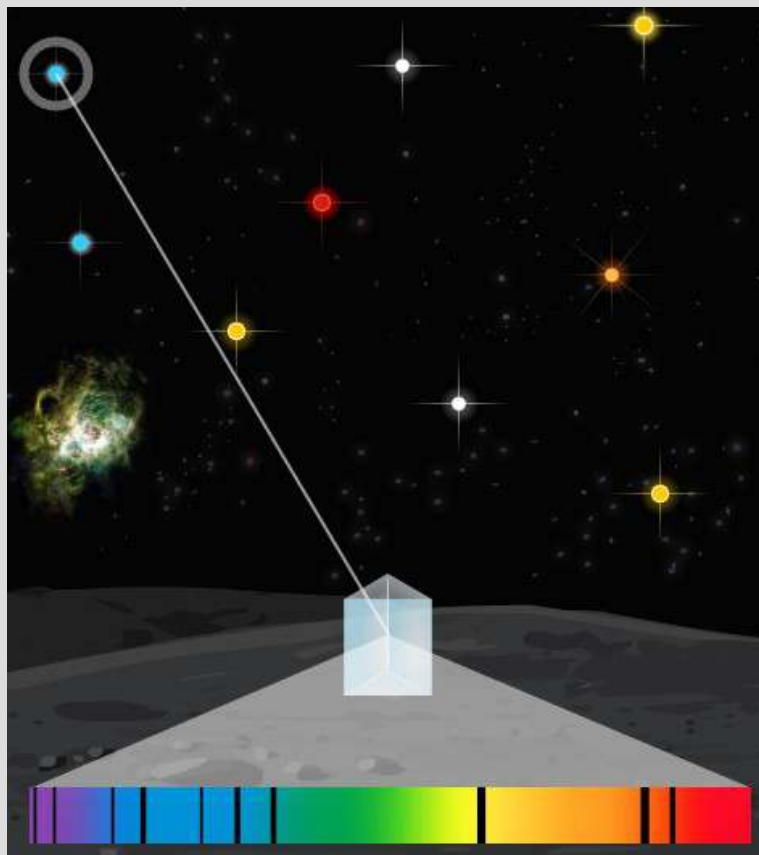


31° Convegno Nazionale del GAD
Firenze, 8 ottobre 2023



Lorenzo Franco (*lor_franco@libero.it*)
(A81) Balzaretto Observatory, Rome
http://digilander.libero.it/A81_Observatory
<https://www.facebook.com/a81balzarettobservatory>

La spettroscopia



La spettroscopia astronomica si prefigge di registrare e misurare la distribuzione del flusso luminoso delle stelle nei vari colori.

I colori rappresentano le lunghezze d'onda e quindi l'energia dei fotoni emessi dalla sorgente.

*Possiamo considerare i fotoni come dei messaggeri. La spettroscopia rappresenta lo strumento che ci permette di estrarre dalla luce le informazioni fisiche della sorgente, **come una sorta di impronta digitale.***

Spettroscopia con Star Analyser

Il modo più semplice ed economico per fare spettroscopia è quello di utilizzare un reticolo di diffrazione Star Analyser, montato come un filtro sulla camera di ripresa o sulla ruota porta-filtri (SA200).



Star Analyser 100



Il reticolo produce l'immagine della stella (ordine 0) con a destra lo spettro diffratto (ordine 1).

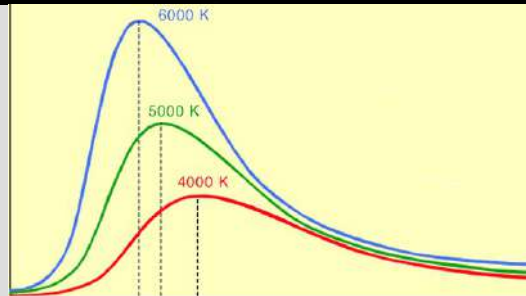
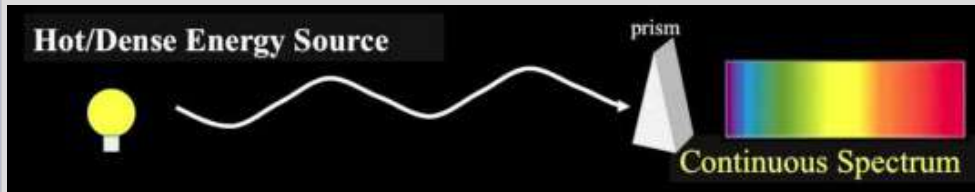


Il reticolo va ruotato opportunamente per ottenere lo spettro a destra della stella.

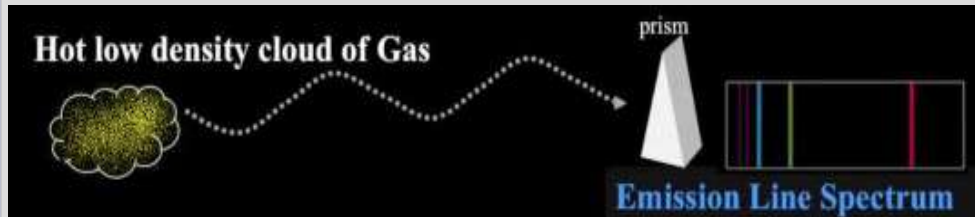
*Le dimensioni dello spettro diffratto dipendono dalla focale del telescopio, dalla distanza del reticolo e dalla dimensione dei pixel del sensore. Per ottimizzare questi parametri si può usare la calcolatrice a questo indirizzo:
<https://www.rspec-astro.com/calculator/>*

I frame acquisiti (non saturi) vanno pre-trattati con dark e flat, come tutte le immagini astronomiche, e mediati per migliorare il rapporto segnale / rumore.

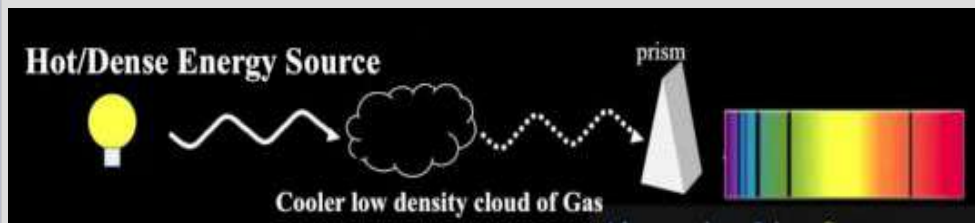
Tre tipologie di spettri



Spettro continuo: emesso da una sorgente calda ad alta pressione (corpo nero = radiazione termica). Il flusso luminoso si distribuisce lungo una curva caratteristica (curva di Planck) il cui massimo di intensità dipende dalla temperatura della sorgente (legge di Wien).



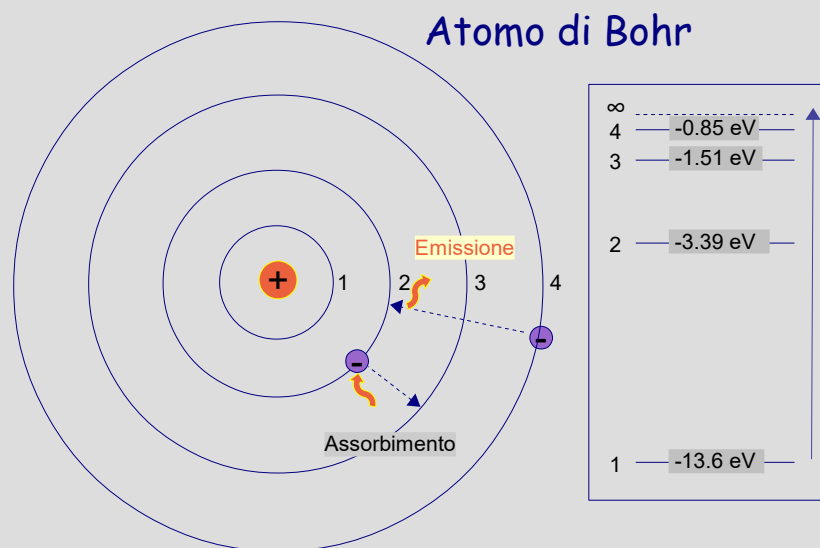
Spettro di emissione: emesso da una nube di gas caldo a bassa densità.



Spettro di assorbimento: emesso da una sorgente calda (spettro continuo) la cui luce passa attraverso un gas più freddo a bassa densità che assorbe determinate lunghezze d'onda in base agli elementi chimici di cui è composto.

Processi atomici

Gli spettri nascondono un significato profondo che va ricercato a livello atomico nei salti quantici.



I livelli energetici di un atomo variano in modo discreto. Le transizioni tra livelli energetici permettono agli atomi di assorbire o emettere pacchetti di energia (fotoni) di una determinata lunghezza d'onda ($E = h\nu = hc/\lambda$).

Le righe di assorbimento / emissione degli spettri contengono quindi informazioni sui processi atomici che le hanno generate come un' impronta digitale.

Quando un fotone viene assorbito, l'elettrone salta ad un livello energetico superiore.

Quando un elettrone ritorna al livello energetico inferiore, viene riemesso un fotone.

Salti di livello	2-3 → H α (6563 Å)
(serie di Balmer)	2-4 → H β (4861 Å)
	2-5 → H γ (4340 Å)

Classificazione stellare

Il profilo spettrale delle stelle varia con la loro temperatura-colore, approssimando l'andamento della curva di Planck.

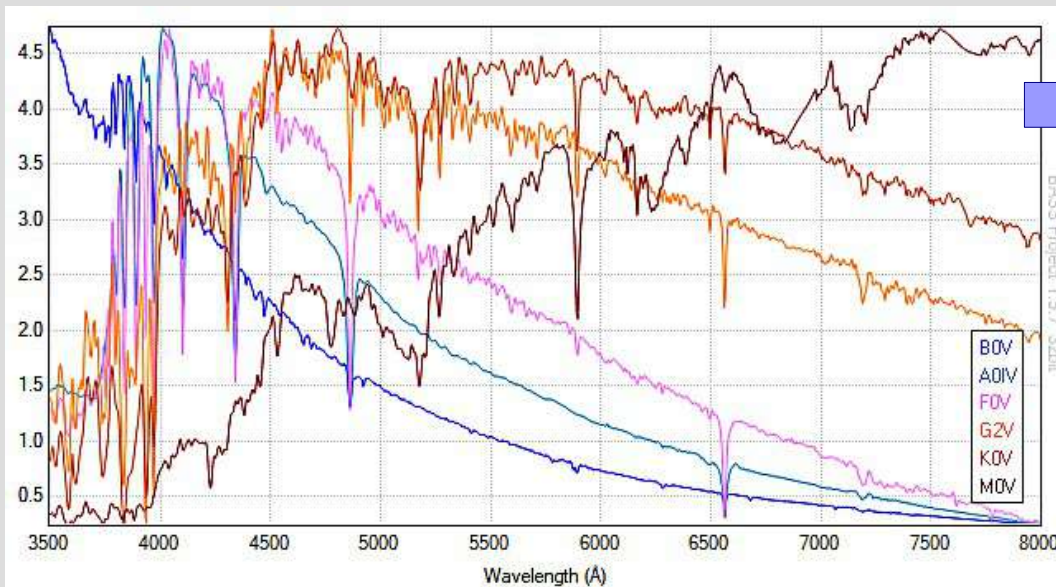
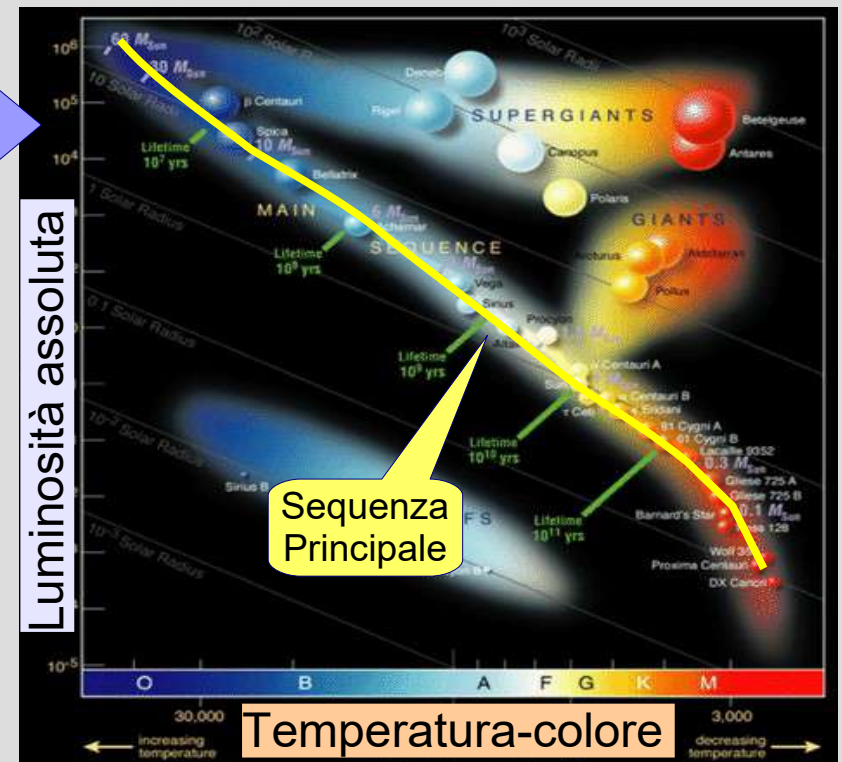


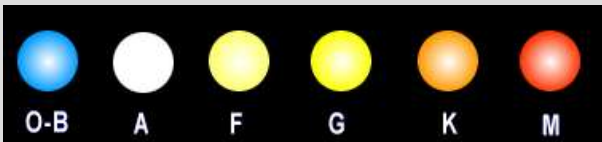
Diagramma H-R colore/luminosità



Luminosità assoluta

Sequenza Principale

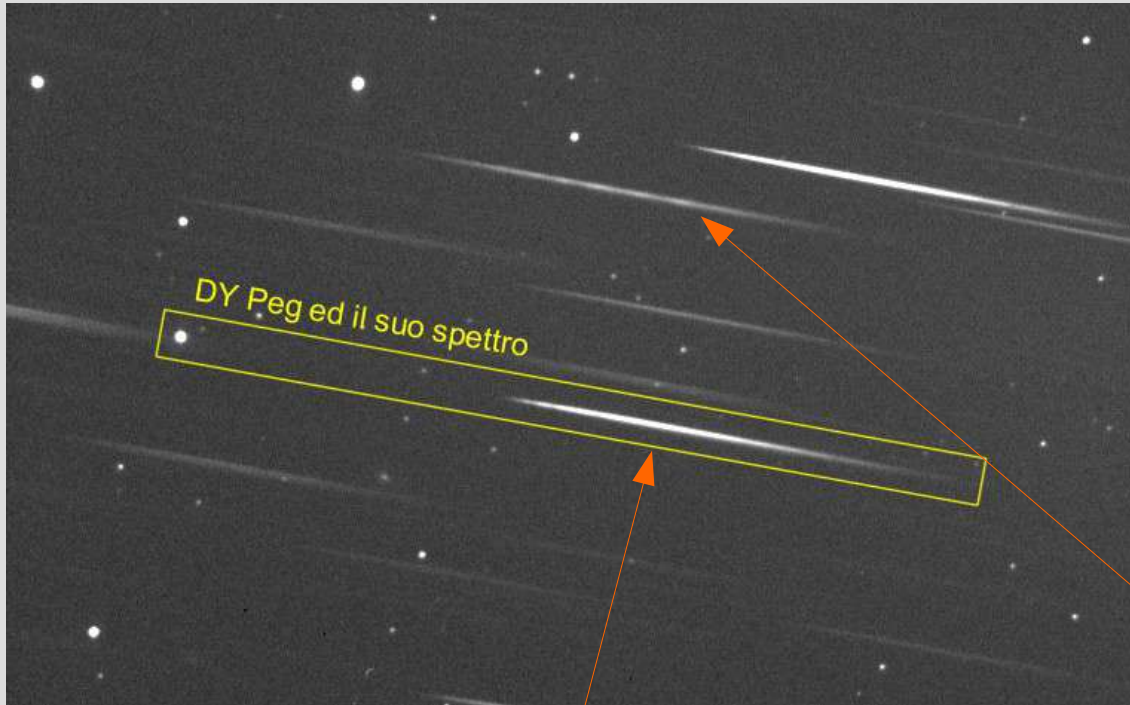
Temperatura-colore



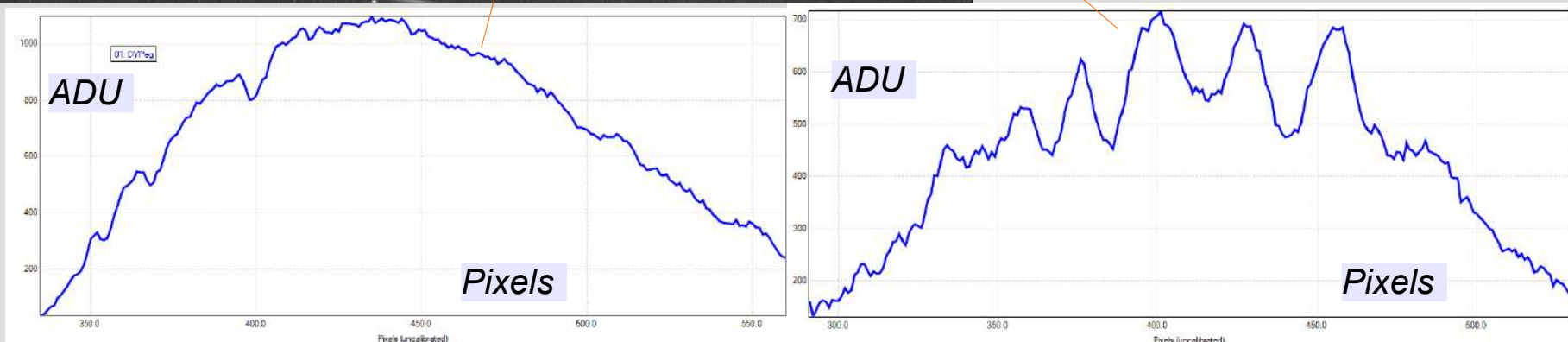
[Tipo] + [0..9] + [I..VII]
 es: Spica (B1 III)
 Vega (A0 V)
 Sole (G2 V)
 Arturo (K 1.5 III)
 Betelgeuse (M2 I)

Il diagramma H-R mostra la distribuzione delle stelle in base alla loro temperatura (OBAFGKM) e classe di luminosità (I, II, III, IV, V, VI, VII).

Come si presenta uno spettro



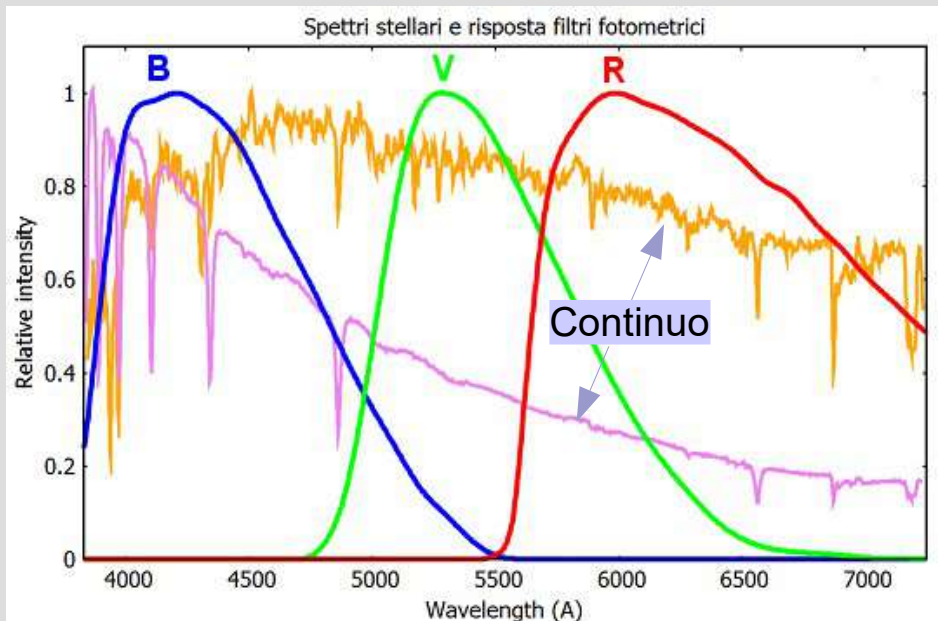
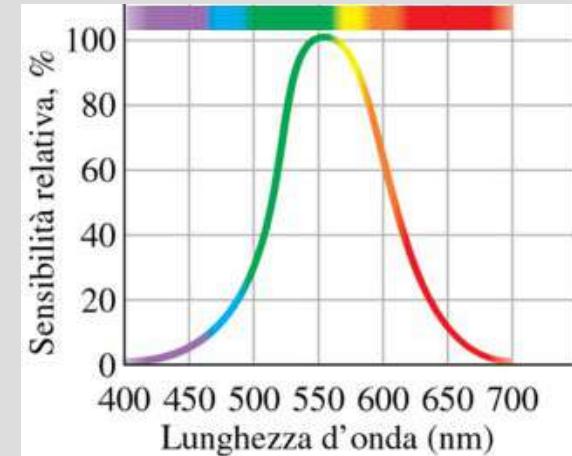
L'immagine a sinistra mostra il campo inquadrato sulla variabile pulsante **DY Peg** (10a mag) con le stelle di campo ed i rispettivi spettri diffratti.



I profili spettrali (strumentali) seguono l'andamento dell'intensità luminosa (ADU) così come viene registrata dai pixel del sensore.

Come orientarsi lunghezze d'onda e colori

Lo spettro della luce visibile si estende (in λ) da circa 3800 a 7500 Angstrom, dal violetto al rosso. Il picco di emissione della luce solare si trova nel verde a circa 5500 Angstrom, coincidente con il massimo di sensibilità dell'occhio umano.



Gli spettri delle stelle A0V e G2V confrontati con la curva di risposta dei filtri fotometrici (B, V, R).

I grafici dei profili spettrali mettono in relazione l'intensità dell'emissione luminosa con le lunghezze d'onda (colori).

Il **continuo** spettrale viene prodotto dall'emissione termica, mentre le righe sono prodotte dall'assorbimento dagli elementi chimici presenti nell'atmosfera stellare.

Come orientarsi dispersione e risoluzione

*In spettroscopia spesso si incontrano i termini “**dispersione**” e “**risoluzione**”. Vediamo quale sia il loro significato per evitare di confonderli ... e di confonderci.*

*Per **dispersione** si intende la lunghezza dello spettro ottenuto sul sensore e si misura in Angstrom/pixel.*

*Per **risoluzione** si intende la minima separazione $\Delta\lambda$ (in Angstrom) tra due dettagli distinguibili dello spettro.*

*Per **R (potere risolvante)** si intende la minima separazione ad una determinata lunghezza d'onda ($\lambda/\Delta\lambda$).*

***Esempio:** sulla nostra immagine SA100 le stelle hanno una FWHM di **2.8 pixel**. Questa separazione è limitata dal seeing e rappresenta la minima risoluzione possibile. Con una dispersione di **17.3 A/pixel**, la minima dispersione diventa **$\Delta\lambda=2.8*17.3=48.4A$** . Il potere risolvante sulla riga $H\beta$ (4861A) sarà: **$R=4861/48.4=100$** .*

Software di spettroscopia

Sono disponibili diversi software per la riduzione degli spettri, tra cui:



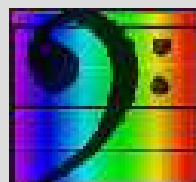
RSPEC: software a pagamento con un'interfaccia semplice ed amichevole. Da usarsi preferibilmente per la bassa risoluzione. <https://www.rspec-astro.com/setupdownload/>



ISIS: software gratuito, completo, potente e affidabile, ma non di immediata fruizione. <http://www.astrosurf.com/buil/isis-software.html>



VSpec: software gratuito, completo, migliorato nell'ultima versione (prima era piuttosto instabile). <http://www.astrosurf.com/vdesnoux/index.html>



BASSProject: software gratuito, completo e potente, con un'interfaccia semplice da utilizzarsi. <https://groups.io/g/BassSpectro>

Software di spettroscopia

(le funzionalità di base)

Ogni software presenta delle peculiarità che possono farlo preferire, ad ogni modo c'è sempre la possibilità di utilizzarli in modo combinato per le diverse funzionalità.

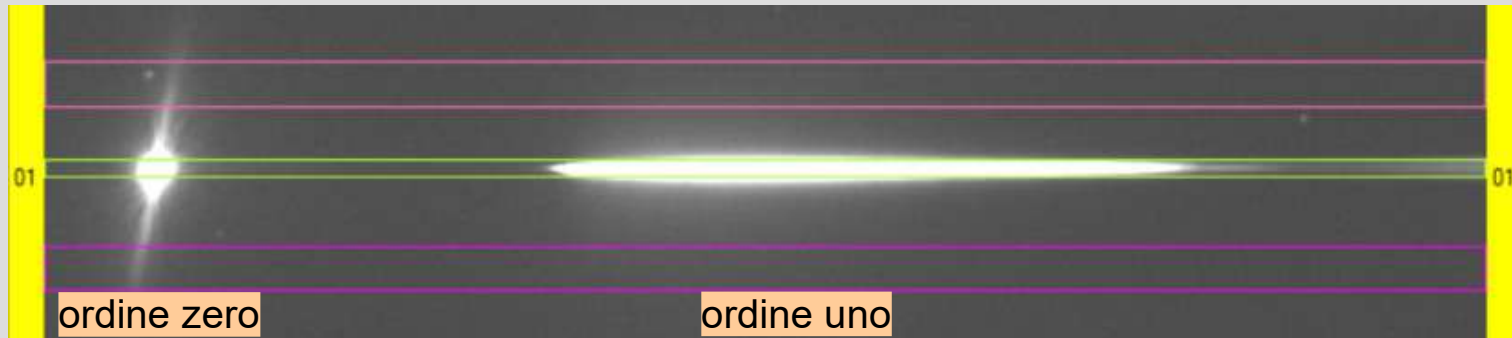
Le principali funzioni di base (implementate in tutti i software):

- *Estrazione del profilo spettrale dai frame CCD/CMOS.*
- *Calibrazione in λ dei profili.*
- *Operazioni matematiche sui profili.*
- *Misurazioni sui profili spettrali.*
- *Libreria di spettri standard per le diverse tipologie di stelle.*
- *Grafici dei profili spettrali e delle righe di assorbimento / emissione.*

Nota: per i prossimi esempi è stato utilizzato il software BASS Project.

Spettro strumentale grezzo

Lo spettro di Vega acquisito con Star Analyser

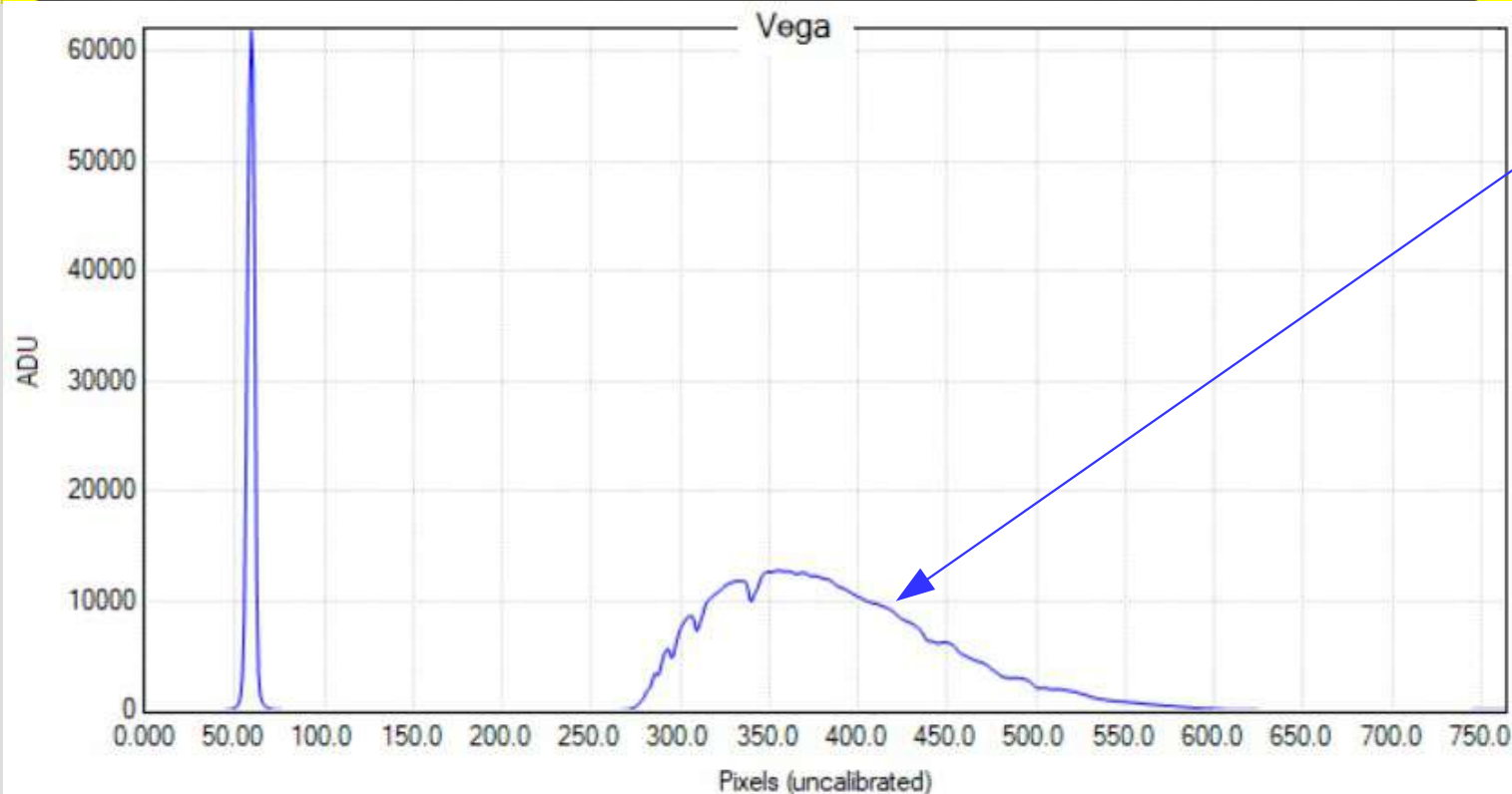


Profilo 2D

Area di fondo cielo

Area di binning

Area di fondo cielo

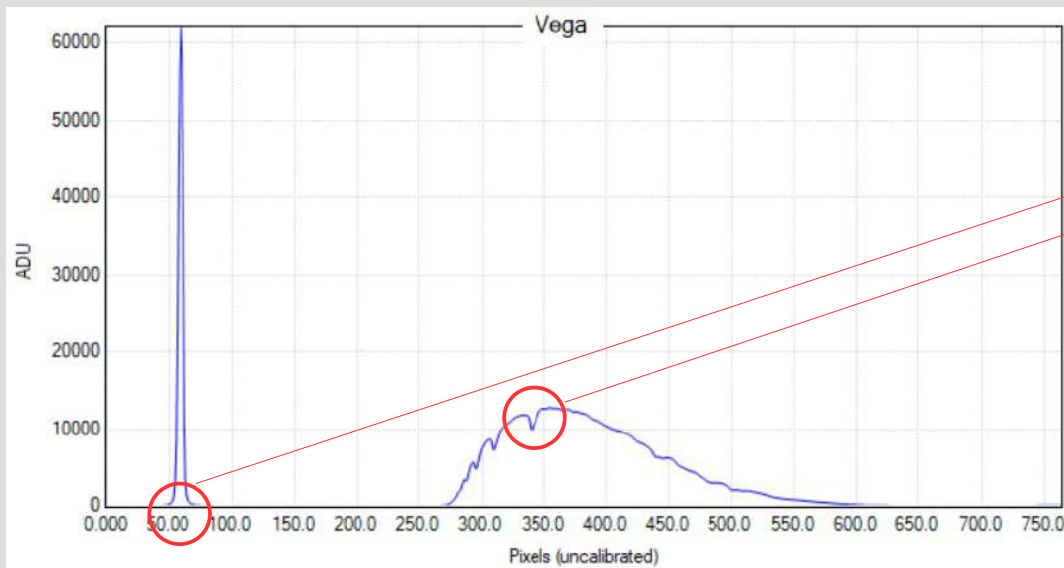


Profilo 1D

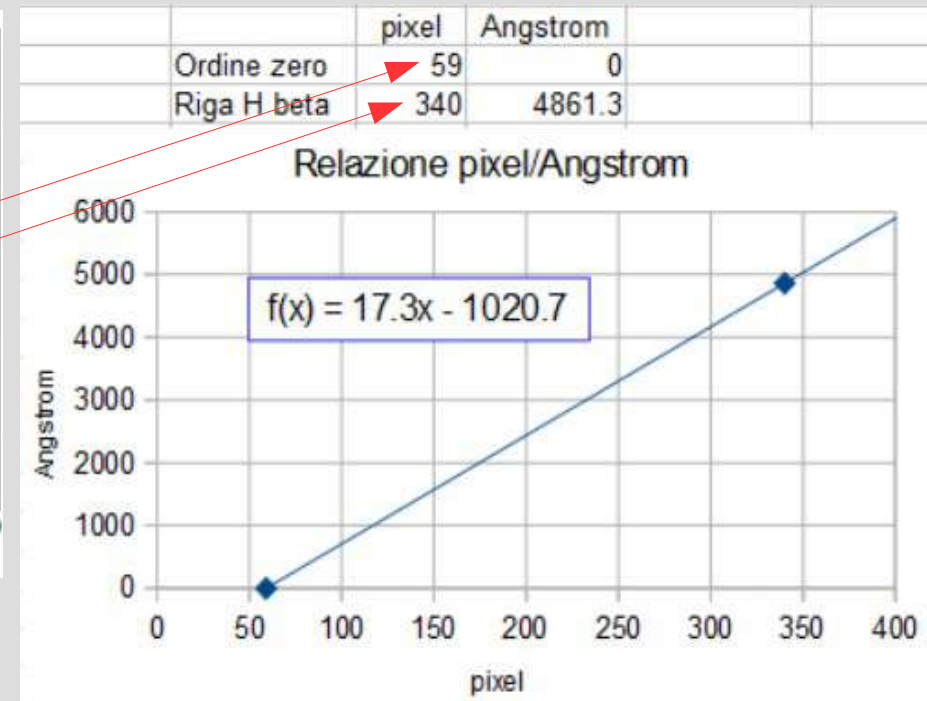
Gli ADU dei pixel dell'area di binning vengono mediati ed il contributo del fondo cielo viene sottratto.

Calibrazione in lambda (foglio di calcolo)

Per ottenere la distribuzione delle intensità nelle lunghezze d'onda è necessario effettuare la calibrazione in lambda, consistente nella trasformazione in Angstrom della coordinata pixel del sensore, tramite una relazione lineare.

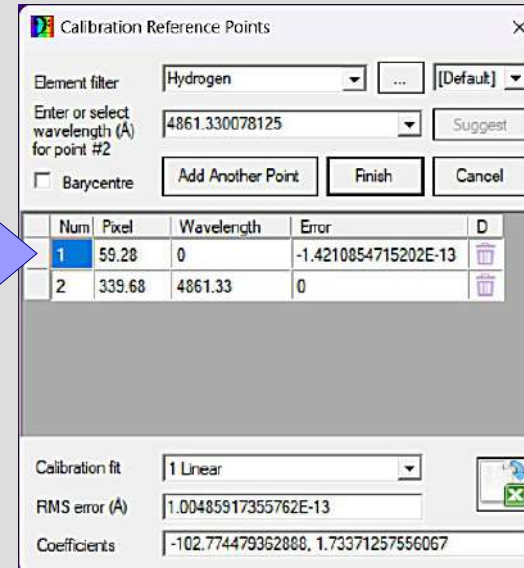
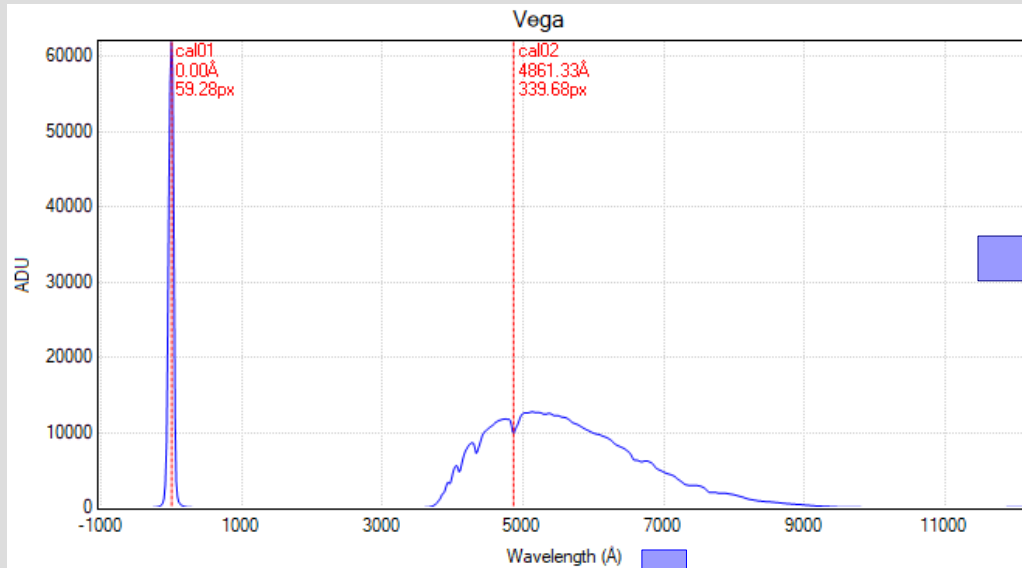


La riga H β si trova nella regione centrale dello spettro, dove le camere CCD/CMOS sono maggiormente sensibili.

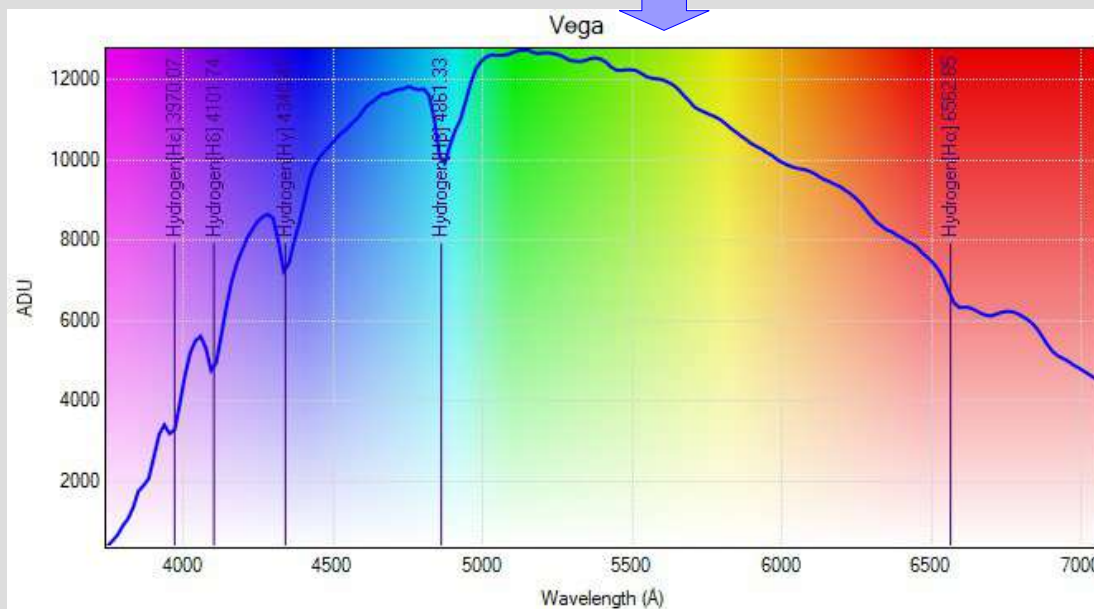


*Detto in altri termini la dispersione del nostro spettro è di **17.3 A/pixel**.*

Calibrazione in lambda (software di riduzione)



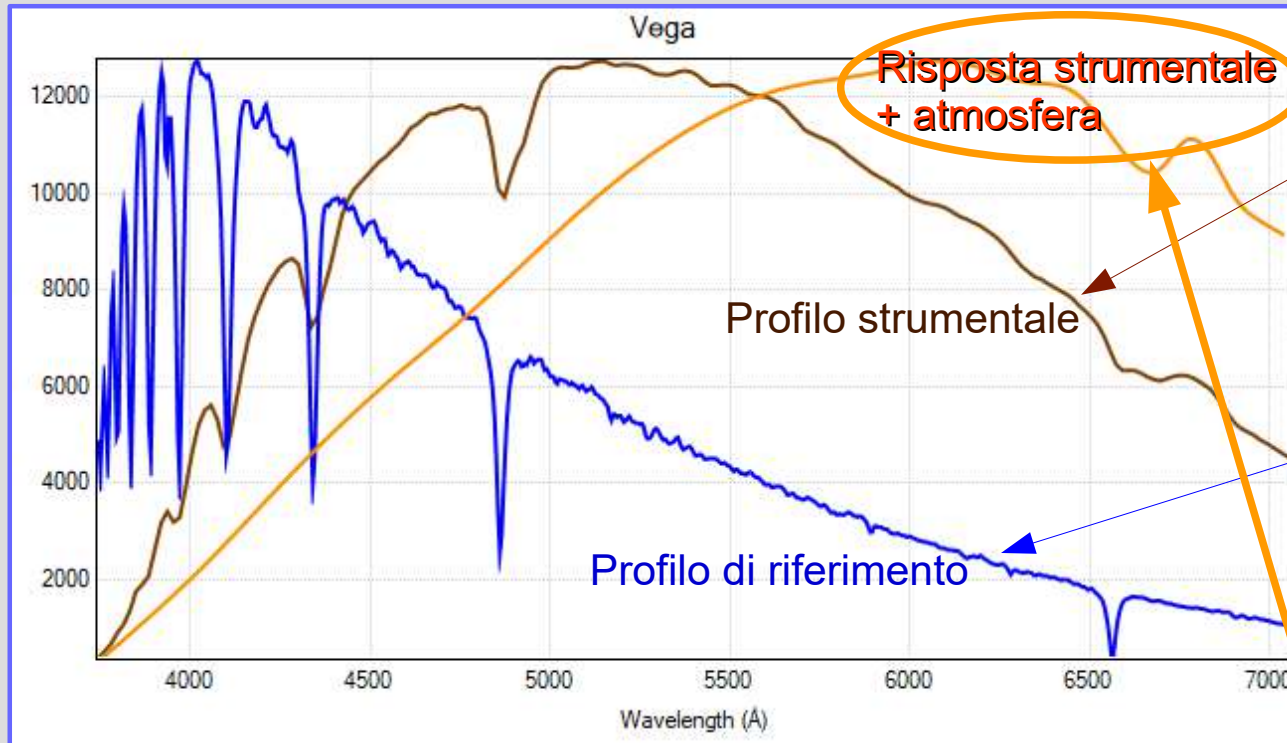
Calibrazione
con BASS
Project



Profilo calibrato in lambda con le caratteristiche righe di assorbimento dell'idrogeno (serie di Balmer).

*Per la calibrazione vanno usate stelle di tipo **A** per le profonde e riconoscibili righe di assorbimento ed un continuo regolare.*

Risposta strumentale



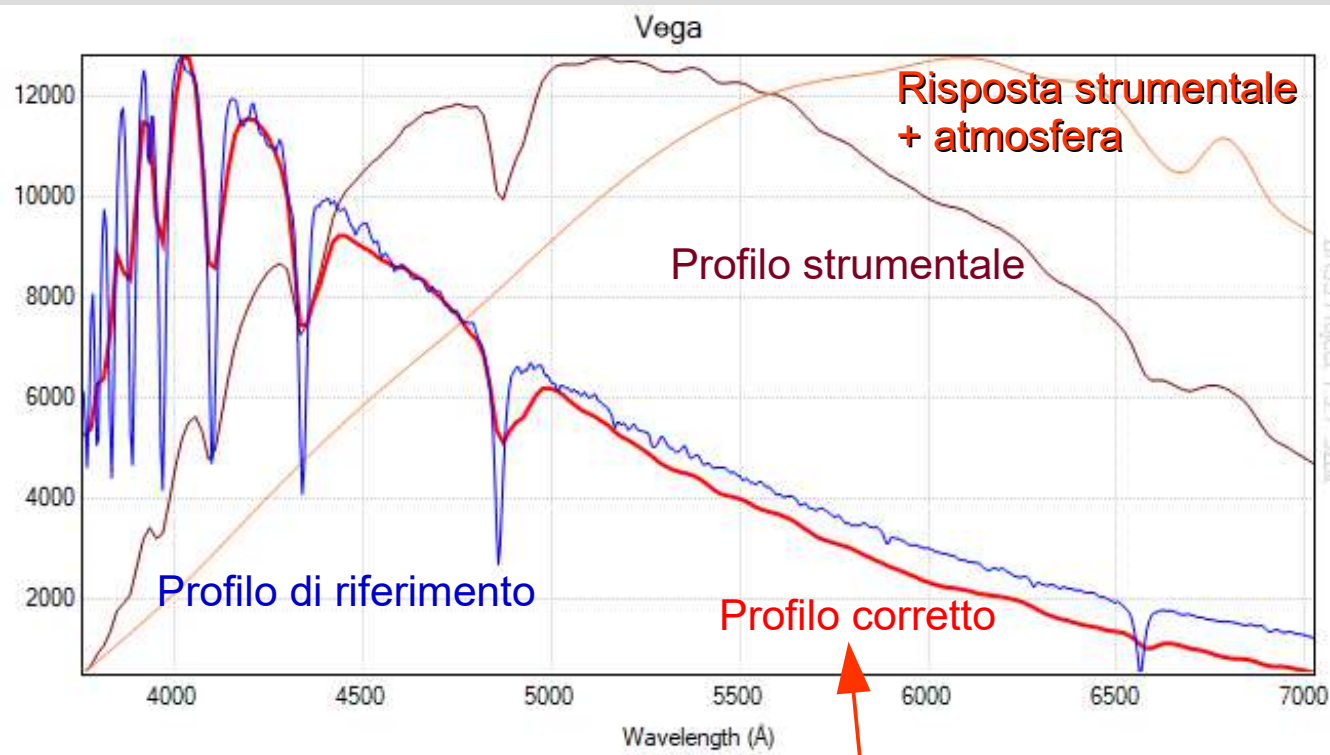
Il profilo strumentale segue la curva di sensibilità del sensore di ripresa.

*Vega è una stella bianca di tipo **A0V** con indice di colore $(B-V) = 0$ ed un picco di emissione nel blu a circa **9000 K** (profilo di riferimento).*

$$\frac{[\text{Profilo strumentale}]}{[\text{Profilo di riferimento}]} = [\text{Risposta strumentale}] + [\text{atmosfera}]$$

*Dal rapporto dei due profili si ricava la curva di **risposta strumentale** del sensore, combinata agli effetti dell'atmosfera.*

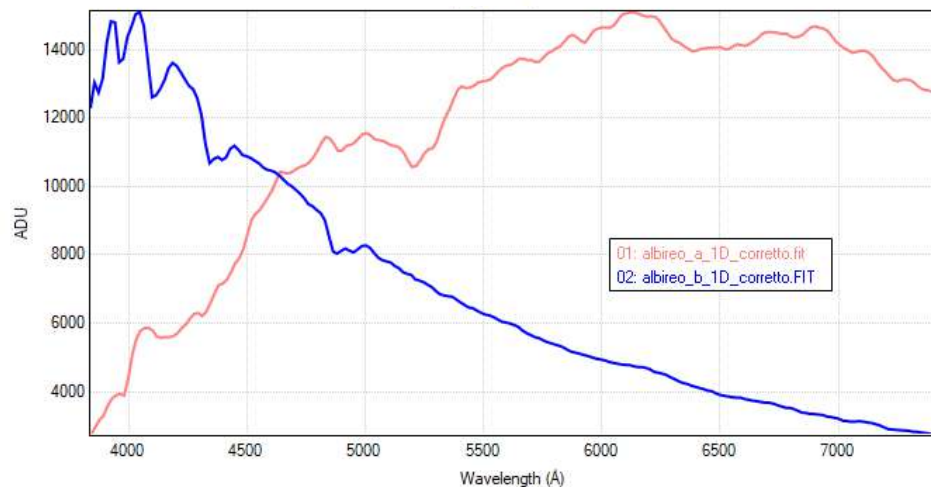
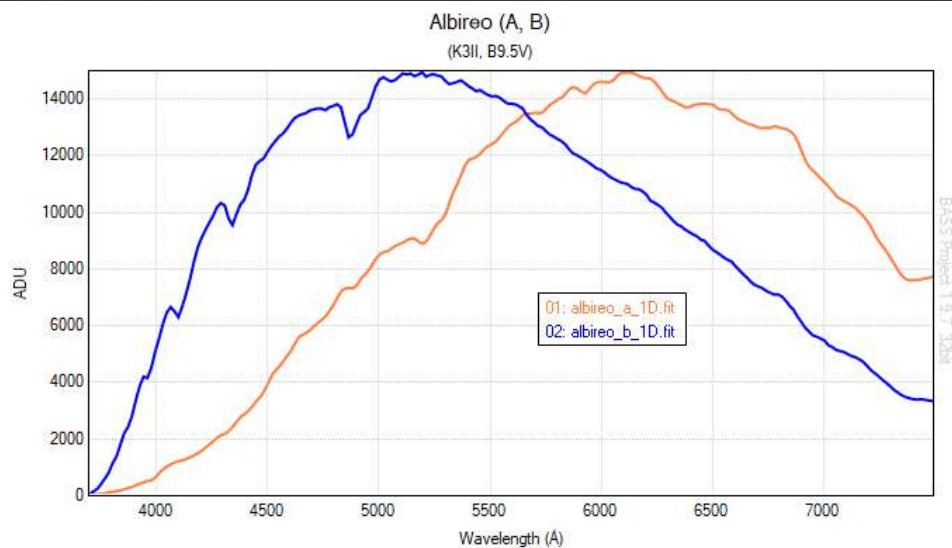
Correzione strumentale



Tramite la curva di risposta si può correggere il profilo strumentale per ottenere il profilo corretto (reale).

$$\frac{[\text{Profilo strumentale}]}{[\text{Risposta strumentale}]} = [\text{Profilo corretto}]$$

Lo spettro di Albireo

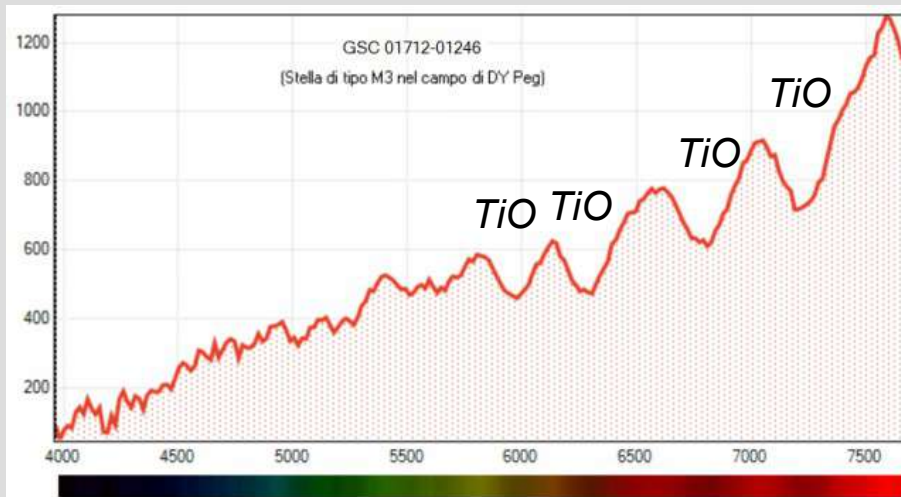


*Albireo è uno splendido sistema binario, composto da una stella arancione (più luminosa) di tipo **K3II** e da una stella blu di tipo **B9.5V**.*

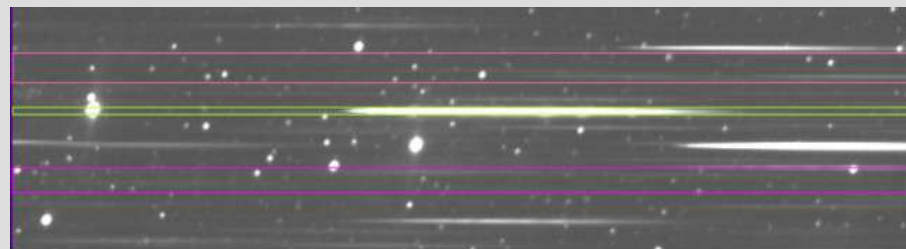
I due profili strumentali calibrati in λ .

I due profili dopo aver applicato la correzione strumentale (risposta strumentale + atmosfera).

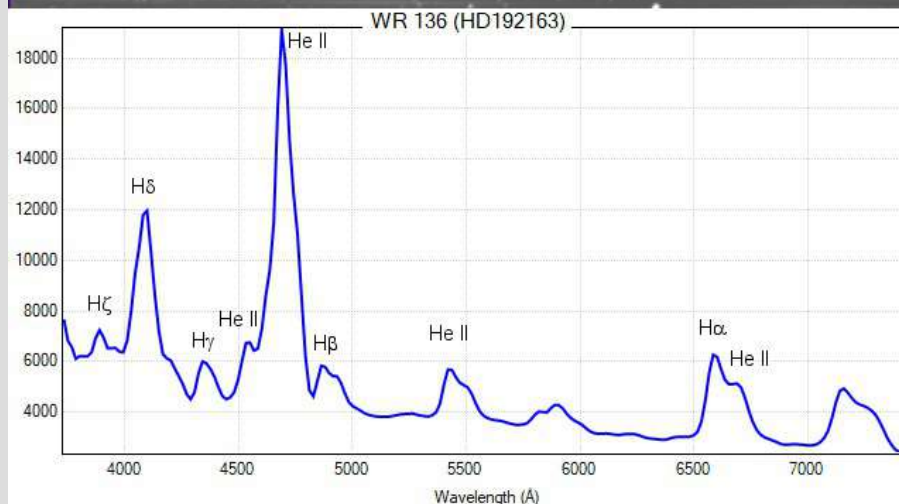
Stelle particolari



Stella rossa di tipo **M3** (GSC 01712-01246) nel campo di DY Peg. Da notare le caratteristiche bande di assorbimento molecolare **TiO** (ossido di titanio) che caratterizza questo tipo di stelle.



Stella peculiare **Wolf-Rayet 136** all'interno della Crescent Nebula. Le WR sono rare stelle massive, molto calde e con intensi venti stellari che le fanno perdere progressivamente il guscio di idrogeno. Da notare le righe di emissione dell'idrogeno e dell'elio ionizzato molto allargate per effetto Doppler.



Stelle luminose da osservare

Per esercitarsi nelle fasi di acquisizione e riduzione degli spettri, consiglio di osservare le seguenti stelle luminose, ordinate per classe spettrale.

L'obiettivo è quello di fare pratica con le fasi di acquisizione e di riduzione degli spettri per riconoscere le principali differenze tra le classi spettrali.

*In una tipica (minimale) sessione spettroscopica, si acquisisce lo spettro della stella di interesse e quello della stella di calibrazione (stella di tipo **A** vicina al target - stessa massa d'aria).*

Costellazione	Nome	mag	Tipo
Orione	Alnitak	2.1	O9.5 I
Cefeo	Alfirk	3.2	B1 III
Orione	Bellatrix	1.6	B2 III
Cassiopeia	Segin	3.4	B3 IV
Leone	Regulus	1.4	B7 V
Lira	Sheliak	3.4	B8 II
Lira	Vega	0.0	A0 V
Orsa Maggiore	Merak	2.4	A1 V
Cigno	Deneb	1.3	A2 I
Leone	Denebola	2.1	A3 V
Aquila	Altair	0.8	A7 V
Leone	Adhafera	3.4	F0 III
Vergine	Porrina	2.8	F0 V
Cane minore	Procyon	0.4	F5 V
Cigno	Sadr	2.2	F8 I
Bootes	Muphrid	2.7	G0 IV
Drago	Rastaban	2.8	G2 II
Gemelli	Mebstuta	3.0	G8 I
Vergine	Vindemiatrix	2.8	G8 III
Bootes	Izar	2.4	K0 III
Drago	Eltanin	2.2	K5 III
Gemelli	Propus	3.3	M3 III
Vergine	Auva	3.4	M3 III
Ercole	Ras Algethi	3.1	M5 II

Stelle di riferimento (come trovarle)

Le stelle di riferimento, da utilizzarsi per la calibrazione in lambda e per la risposta strumentale, vanno scelte nelle vicinanze del target di interesse. Ecco come trovarle.

Servizio **SIMBAD** (query by criteria): <http://simbad.cds.unistra.fr/simbad/sim-fsam>
`region(circle,00 30 +01 59, 10d) & Vmag<8 & sptype="A0V"`
`region(circle,WR 133, 10d) & Vmag<8 & (sptype>"A0" & sptype<"A9")`
`region(circle,00 30 +01 59, 10d) & Vmag<10 & sptype="G2V"`

The screenshot shows the SIMBAD web interface. At the top, there are navigation links: Portal, Simbad, VizieR, Aladin, X-Match, Other, and Help. The main heading is "SIMBAD: Query by criteria". Below this, there are several tabs for different query modes: Identifier query, Coordinate query, Criteria query, Reference query, Basic query, Script submission, TAP, Output options, and Help. The "Criteria query" tab is selected.

The "Enter a search expression:" section contains a text input field with the query: `region(circle,00 30 +01 59, 10d) & Vmag<8 & sptype="A0V"`. Below the input field are "submit query" and "clear" buttons. To the right of the input field, there is a note: "Criteria queries may require some time, especially if they are complex or involve a large number of objects. Limited to 5 criteria. Please, wait for their completion if it is the case." To the right of the note, there is an "Example:" section with the query: `ra > 15 & ra < 30 & dec > 70 (cat = 'PPM' | cat = 'HIP') Rot.vsinl > 10,0`. Below the example, there is a "Return:" section with three radio buttons: "object count", "display" (selected), and "get references from the selected objects". The "display" option has a dropdown menu set to "maximum 10000" objects.

The "Enter the name of an ASCII file containing a search expression:" section is empty.

The results section shows the following information: "C.D.S. - SIMBAD4 rel 1.8 - 2023.04.24CEST09:51:29", the query: `region(circle,00 30 +01 59, 10d) & Vmag<8 & sptype="A0V"`, and "Number of objects : 3". Below this is a table with the following columns: #, identifier, typ, coord1 (ICRS, J2000/2000), Mag U, Mag B, Mag V, Mag R, Mag I, spec. type, #bib, and #not. The table contains three rows of data:

#	identifier	typ	coord1 (ICRS, J2000/2000)	Mag U	Mag B	Mag V	Mag R	Mag I	spec. type	#bib	#not
1	HD 224004	**	23 54 25.45382 +02 27 50.0549	~	7.98	7.96	~	~	A0V	14	1
2	HD 1160	*	00 15 57.3019549776 +04 15 04.009943520	~	7.159	7.119	~	~	A0V	88	1
3	HD 1663	**	00 20 54.59048 +10 58 36.8483	6.530	6.600	6.550	~	~	A0V	51	0

Cataloghi: [Stelle brillanti di tipo A0], [Stelle brillanti di tipo G2].

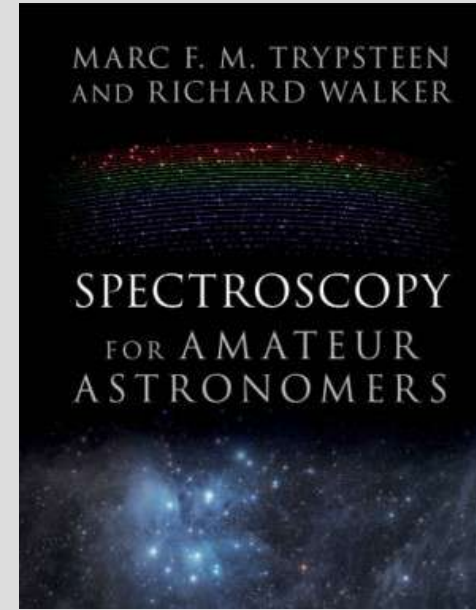
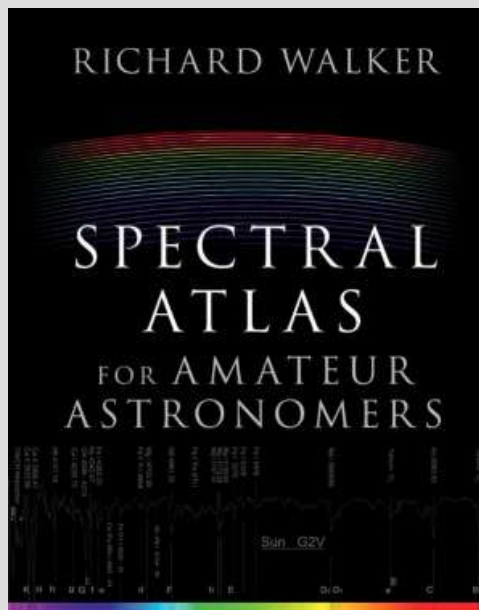
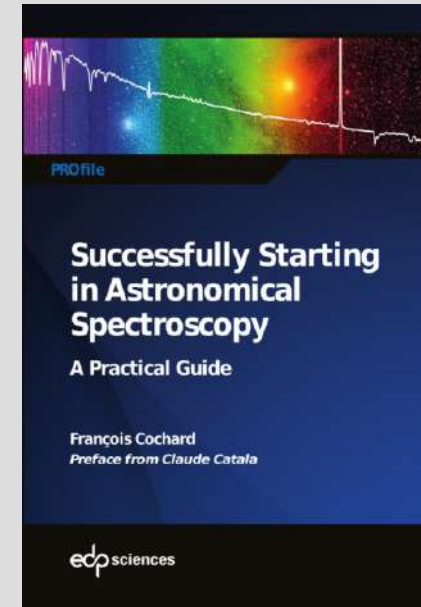
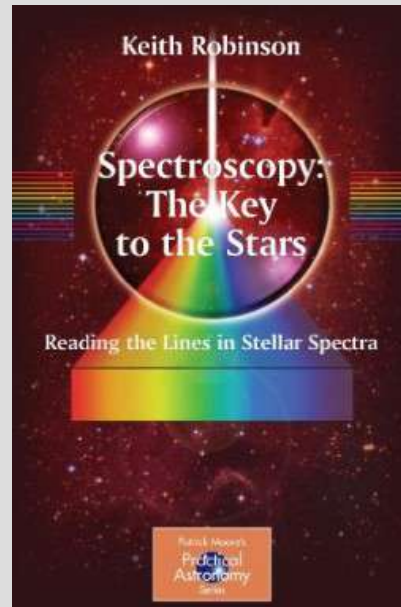
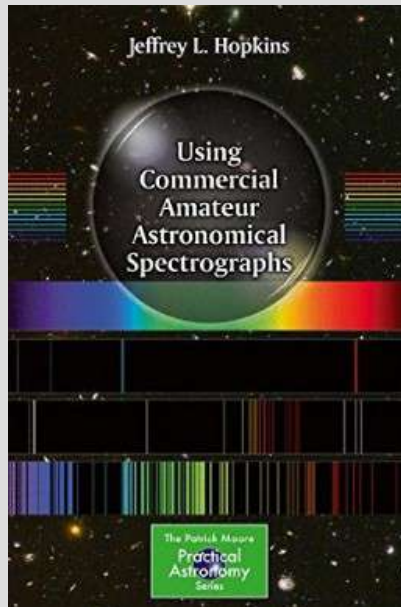
Conclusioni

Questa relazione rappresenta un assaggio che ci aiuta ad intravedere le grandi potenzialità della spettroscopia, anche con l'ausilio di un semplice ed economico reticolo di diffrazione come Star Analyser.

L'articolo completo si può leggere sulla rivista [Coelum](#) (263, agosto/settembre 2023).

*Il tutorial per la riduzione degli spettri acquisiti con Star Analyser ed usando Bass Project è disponibile qui:
[\[Tutorial StarAnalyser+BASS\]](#)*

Libri per approfondire



Domande

