



XLV Congresso Unione Astrofili Italiani

Frascati – 27-30 settembre 2012



Analisi spettroscopica della stella P Cygni

Elio Ricciardiello, Dario Castellano, Antonio Marino, Carmen Perrella, Antonio Porcelli

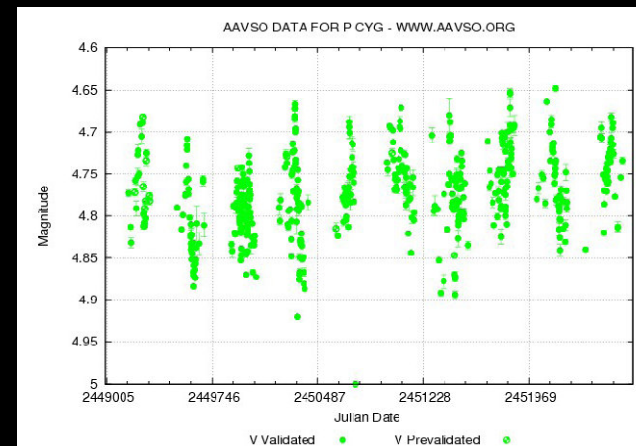
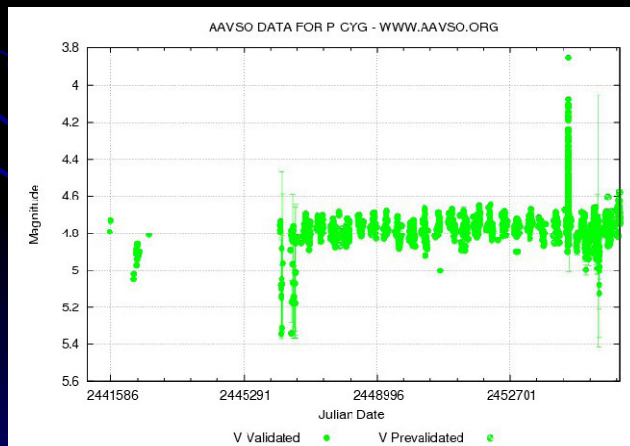
Unione Astrofili Napoletani
c/o INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte

Introduzione

P Cygni, catalogata anche come 34 Cygni, è una stella variabile nella costellazione del Cigno. La designazione P stava originariamente ad indicare lo stato di nova ([Bayer 1603, Uranometria](#)).

P Cyg è una stella supergigante blu appartenente alla categoria delle LBV (Luminous Blue Variable), di classe spettrale B, tra le più luminose nella Galassia ($M_v = -7$) e distante circa 6000 anni luce.

La magnitudine in banda V è di $4,8 \pm 0,5$ ma il suo valore varia continuamente a causa delle fluttuazioni dell'intenso vento stellare.



Sommario

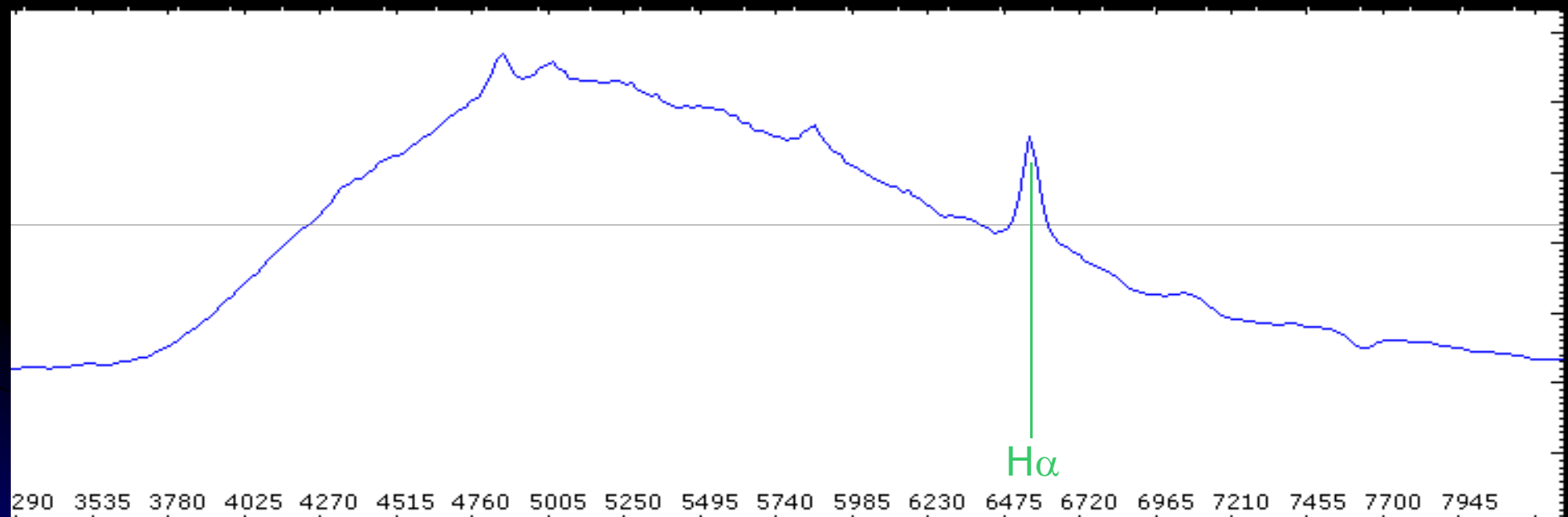
- Acquisizione degli spettri
- Acquisizione delle immagini di pre-riduzione
- Pre-processing degli spettri
- Media degli spettri per aumentare il rapporto S/N
- Calibrazione in lunghezza d'onda dello spettro
- Correzione per la risposta strumentale
- Misura della temperatura di colore (limite inferiore)
- Modello teorico del "profilo P Cygni"
- Misura della velocità di espansione del vento stellare

Strumentazione e Software

- Telescopio Celestron C11 f/10 su Montatura CI 700
- CCD Atik 16 IC-S sensore monocromatico
- Reticolo di diffrazione Shelyak Star Analyzer 100 linee/mm
- AstroArt
- Visual Spec



Spettro di P Cyg



L'analisi dei dati

La dispersione Δ risulta essere di circa 20 Å/pixel, che pur portata poi a 8 Å/pixel con l'inserimento di un telextender, è comunque indice del fatto che stiamo lavorando in regime di bassa dispersione.

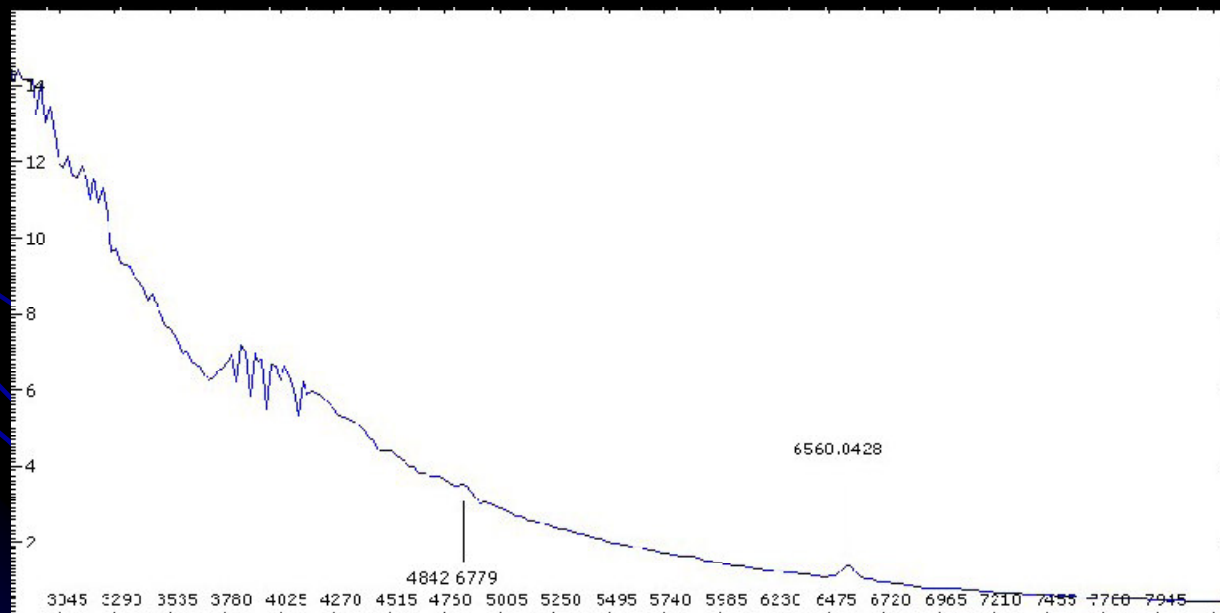
Essa rappresenta la massima precisione, intesa come il minimo dettaglio registrabile, che possiamo misurare sullo spettro.

Rappresenta quindi l'errore massimo che commettiamo nelle misure di lunghezza d'onda.

Misura della temperatura di colore

Dallo spettro calibrato e corretto per la risposta strumentale, misuriamo la lunghezza d'onda del massimo e ricaviamo la temperatura utilizzando la legge di Wien: $\lambda_{\max} T = a$ (con $a \approx 3000 \mu\text{m K}$)

$$\lambda_{\max} \approx 3000 \pm 20 \text{ A} \rightarrow T = 10000 \pm 15 \text{ K.}$$



Considerazioni su T

Si nota che il massimo del profilo spettrale si pone ben prima dei 3000 Å, valore dal quale iniziano le nostre misure in lunghezza d'onda.

Il massimo di emissione della stella si trova nell'ultravioletto e la temperatura da noi misurata rappresenta solo un limite inferiore, per cui

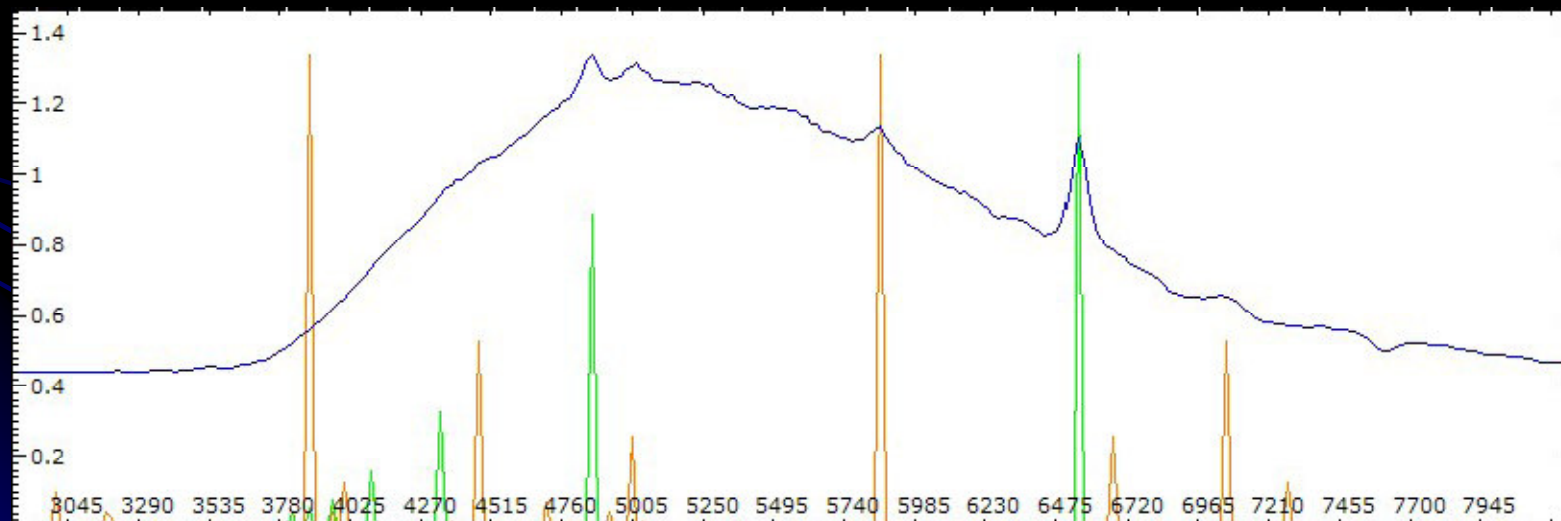
$$T > 10\,000\text{ K}$$

Una tale temperatura ionizza i gas circumstellari più esterni, principalmente idrogeno (H) ed elio (He), confermata dalla presenza di forti righe di emissione nel profilo spettrale.

Profilo spettrale

Il profilo stellare mostra forti linee di emissione a lunghezze d'onda corrispondenti agli atomi:

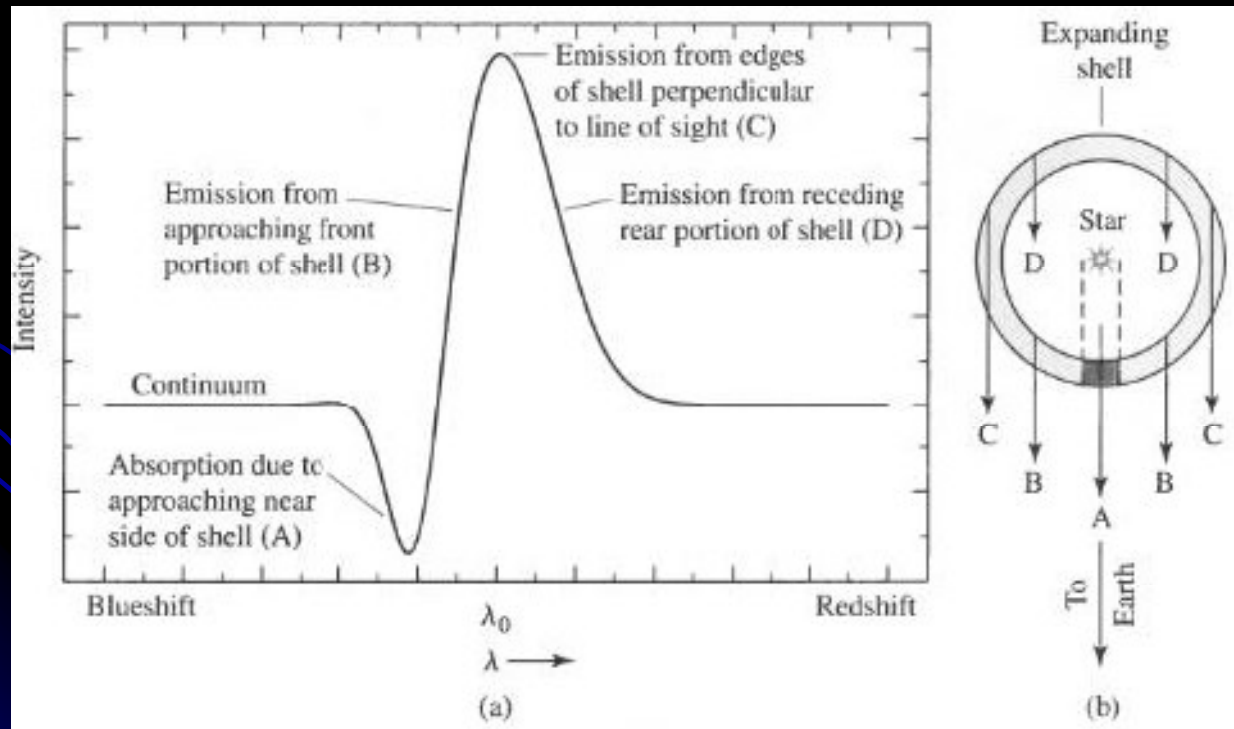
- idrogeno (in verde $H\alpha = 6563 \text{ \AA}$ e $H\beta = 4861 \text{ \AA}$)
- elio (in arancione $\text{HeI} = 5016; 5876; 7066 \text{ \AA}$)



Profilo spettrale

Tipica caratteristica spettroscopica, chiamata "profilo P Cygni", è la presenza congiunta di righe d'assorbimento e d'emissione.

Il picco di emissione, piuttosto largo, è preceduto da una riga d'assorbimento a lunghezza d'onda più corta (blueshift)



Interpretazione fisica

La componente in emissione è dovuta alla porzione del guscio in espansione della stella (supergigante blu) che si sta muovendo lateralmente e perpendicolarmente alla linea di vista.

La componente in assorbimento è invece il risultato di luce che passa attraverso un gas diffuso e più freddo.

La parte dell'involuppo immediatamente lungo la linea di vista, detta zona d'ombra, assorbe i fotoni emessi dalla stella molto calda ($T > 10000 \text{ K}$).

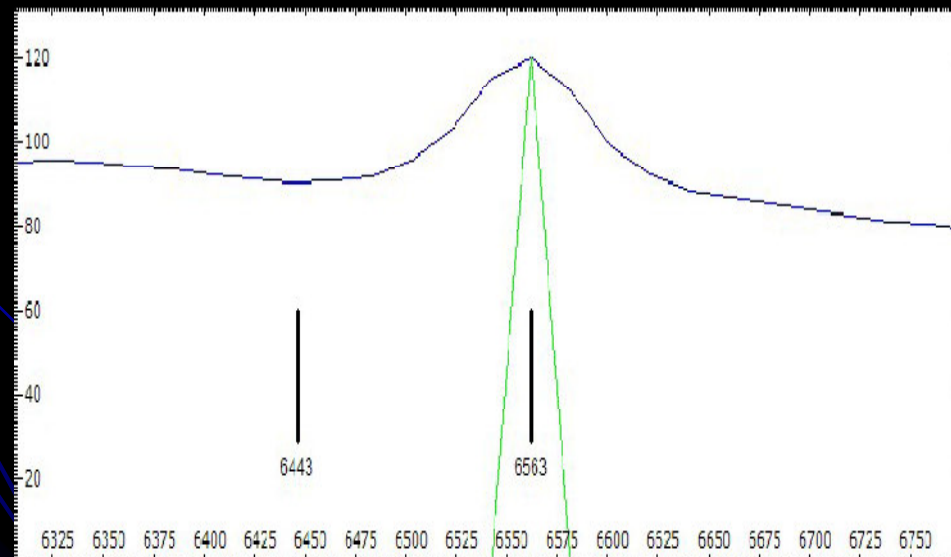
Siccome questa parte dell'involuppo si sta muovendo verso l'osservatore, l'assorbimento è blueshiftato rispetto alla componente di emissione.

Velocità di espansione della shell

Posto il vincolo sulla temperatura, tale da riuscire a ionizzare il gas circumstellare, e chiarito il modello fisico che sta alla base del tipico profilo P Cygni, siamo ora in grado di poter stimare la velocità di espansione dell'involuppo.

Per far ciò sfrutteremo la componente in emissione come normalmente si fa per le Novae calcolando la FWHM delle righe spettrali

In figura è mostrato un ingrandimento della riga $H\alpha$ (6563 Å)



Misure

Sono riportati in tabella i valori di FWHM della componente di emissione.

Con lo Star Analyzer a 45 mm dal CCD l'errore, dato dal valore della dispersione, è di 20 Å

Righe (Å)	28-06-2011 ($\Delta=20$)	06-07-2011 ($\Delta=20$)	08-07-2011 ($\Delta=20$)	12-07-2011 ($\Delta=20$)	29-09-2011 ($\Delta=20$)
H β (4861)	59.0	21.2	56.9	21.2	61.9
HeI (5016)	66.3	78.7	60.0	71.8	-
HeI (5876)	64.0	-	57.4	65.9	-
H α (6563)	64.0	79.7	55.3	67.9	64.8
HeI (7066)	-	82.0	69.1	-	-

Misure

Portando lo Star Analyzer a 105 mm dal sensore CCD si ottiene un miglioramento dell'errore con una dispersione di 8 Å.

In tale caso i valori di FWHM sono stati i seguenti

Righe (Å)	29-11-2011 ($\Delta=8$)	8-12-2011 ($\Delta=8$)	13-12-2011 ($\Delta=8$)
H β (4861)	30.0	39.8	40.0
HeI (5016)	33.2	45.9	56.3
HeI (5876)	28.3	31.8	59.2
H α (6563)	33.5	44.9	59.9
HeI (7066)	36.5	-	-

Misure

Mediando i risultati sulle righe spettrali per ogni osservazione misuriamo un valor medio di redshift pari a

$$z = FWHM/\lambda_{lab} = 0.0071 \pm 0.0012$$

Righe
(A)

(z)

H β (4861)

0.0078

HeI (5016)

0.0090

HeI (5876)

0.0068

H α (6563)

0.0070

HeI (7066)

0.0052

Risultati

È ragionevole ipotizzare che il gas si espanda con velocità inferiore a quella della luce, per cui, utilizzando l'effetto Doppler non relativistico ($z = v/c$), possiamo stimare la velocità di espansione del guscio esterno:

$$z_{\text{medio}} \approx 0.0071 \pm 0.0012 \rightarrow v_{\text{media}} \approx 2000 \pm 300 \text{ km/s.}$$

La misura della velocità del vento stellare di P-Cygni pur leggermente sovrastimata, a causa della bassa dispersione (8 Å/px) si inquadra con i valori trovati in letteratura.