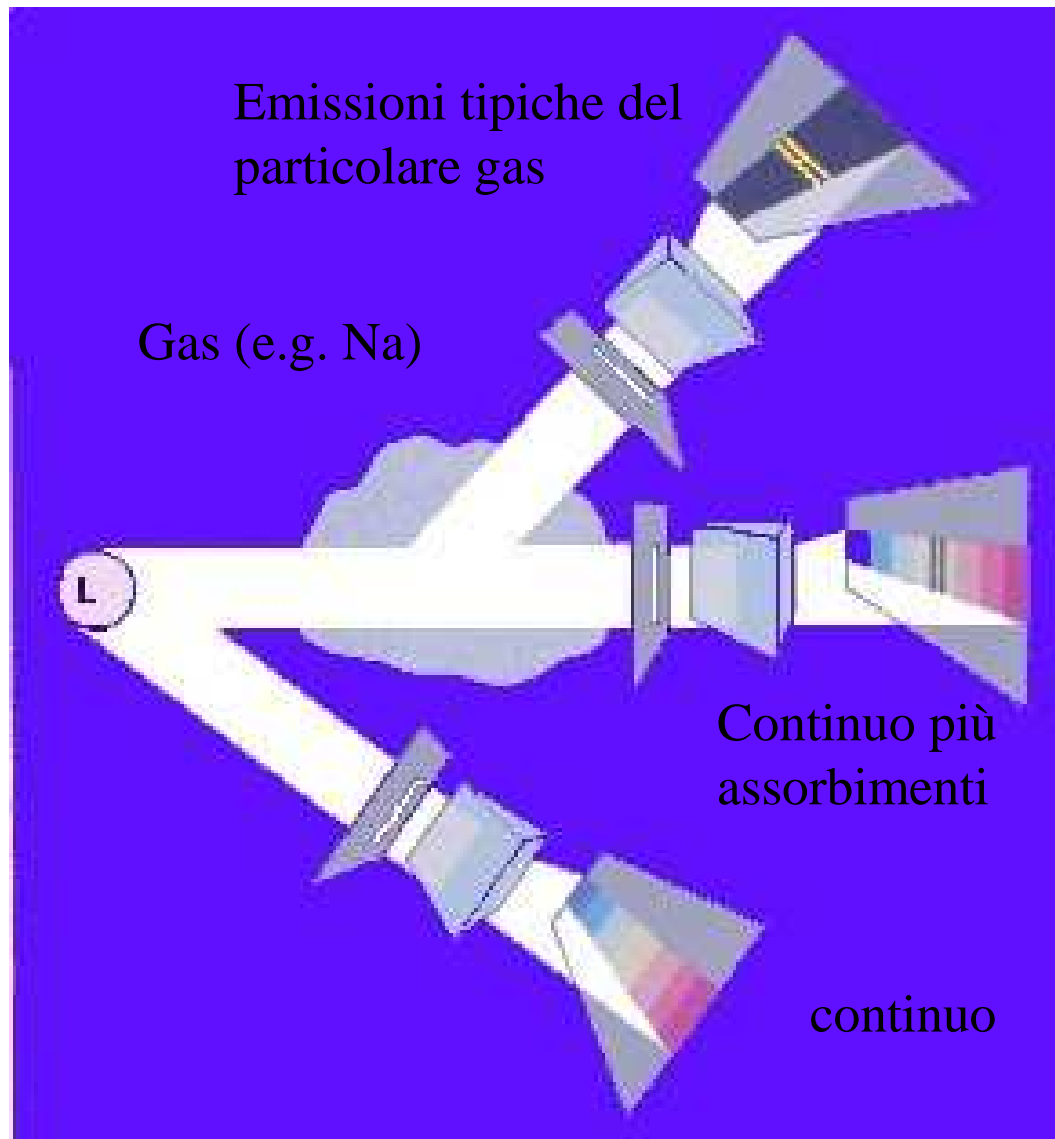


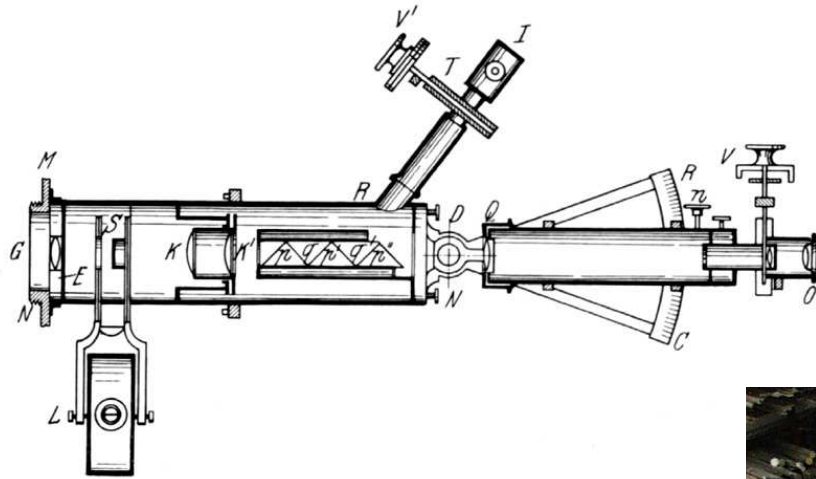
Elementi di Spettroscopia Astronomica

La spettroscopia



- Questo è lo schema di laboratorio. Nel caso astronomico, la lampada è sostituita dall'astro più il telescopio.
- L'elemento dispersivo può essere un prisma, o un reticolo, o qualche altro dispositivo ancora .
- Si noti la fenditura, che talvolta è una o più fibre ottiche

Alcuni spettrografi



In alto, lo spettrografo di Padre Angelo Secchi, a destra lo spettrografo a alta risoluzione del Keck



Lo spettro delle stelle normali

- *Nel visibile*, lo si può interpretare come un continuo descritto approssimativamente dalla legge di Planck, su cui sono sovrapposte righe atomiche e bande molecolari in *assorbimento*.
- Le righe e bande possono derivare sia da atomi e molecole **neutre** oppure **ionizzate**
- Le righe e bande di solito assorbono *una piccola frazione dell'energia totale, per cui il continuo può essere descritto in prima approssimazione dalla legge di Planck.*
- *L'aspetto dello spettro è determinato essenzialmente dalla temperatura, ma risente anche del raggio (cioè della luminosità assoluta)*
- *La composizione chimica è invece molto uniforme, come si vede dalla prossima diapositiva.*

Abbondanze stellari tipiche, in numero e massa

<i>Nome</i>	<i>numero</i>	<i>massa</i>	<i>elettroni</i>
<i>elemento</i>	<i>(normalizzato a H =100)</i>		<i>fornibili</i>
H	100.0	100	100
He	9.8	39	20
C,N,O,Ne	0.15	2.2	1.1
Altro	0.01	0.4	0.21

Abbondanze per massa:

X (frazione di H) = 0.71

Y (frazione di He) = 0.27

Z (tutto il resto) = 0.02

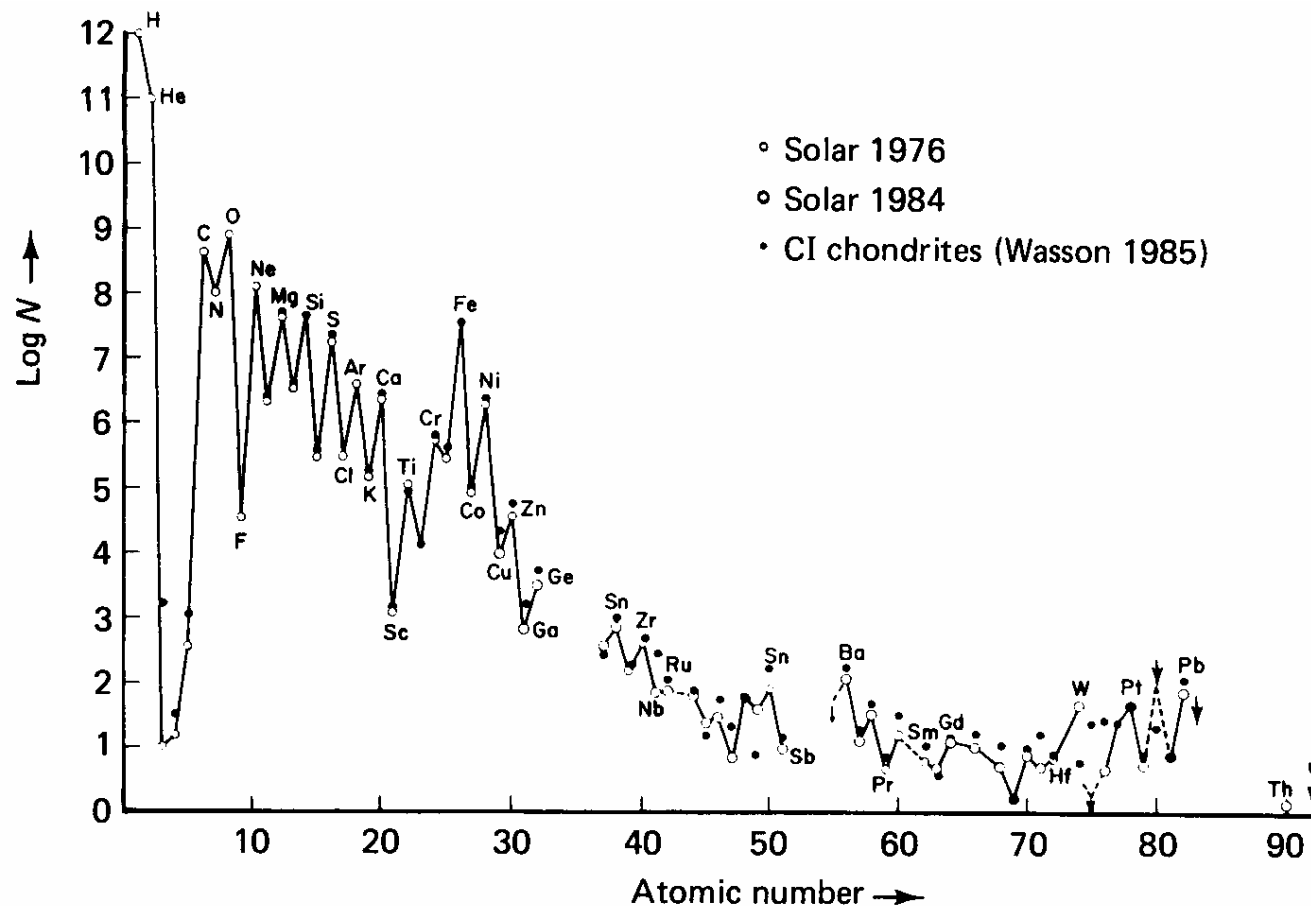


Grafico delle
abbondanze dei
vari elementi
chimici nel Sole
(per numero)

Questo
grafico viene
ancor oggi
rivisto, si
vedano gli
ultimi lavori
di Grevesse
et al. (2006,
2007)

Fig. 5.17. The chemical composition of the sun. The number of atoms is plotted on a 'ten power' or logarithmic scale against atomic number and the solar values (denoted by open circles) are compared with values for the CI carbonaceous chondrites (stony meteorites that have suffered a minimum of physical and chemical processing; solid circles). The chondritic and solar data are fitted at silicon. The meteoritic data are from *Meteorites, their Record of Early Solar System History*, John Wasson, 1985, Freeman, San Francisco. For references to the solar data see *Spectroscopy of Astrophysical Plasmas* A. Dalgarno and D. Layzer (eds.) 1987, Cambridge University Press, p. 89. An almost identical diagram is obtained from the more recent data of Grevesse and Anders.

La classificazione spettrale

Il primo lavoro di classificazione degli spettri stellari risale a Padre Angleo Secchi.

Venne poi la classificazione di Harvard, e infine quella di Morgan, Keenan e Kellman (MKK):

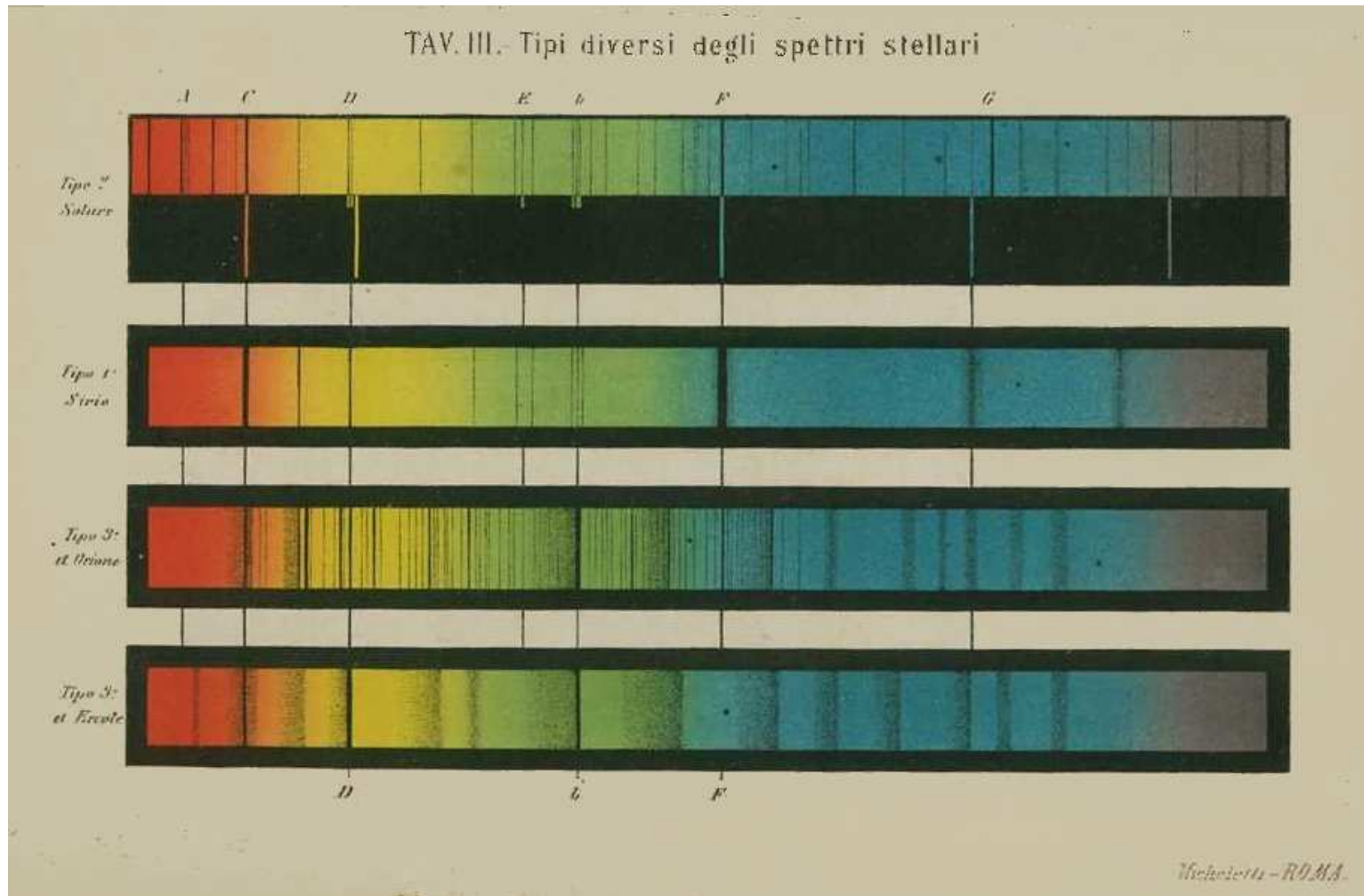
Suddivisione in:

7 classi principali in funzione della ***temperatura T*** decrescente: O, B, A, F, G, K, M. Ogni classe divisa in 10 sottoclassi da 0 a 9, sempre in ordine di ***T*** decrescente.

e in 5 classi di luminosità (I supergiganti, II, III giganti, IV, V nane).

Non tutte le stelle si possono classificare in questi tipi, ci sono altri tipi (ad es. Wolf Rayet, stelle Am, stelle Ap, etc.) che qui non discutiamo. Recentemente si sono classificate stelle molto fredde (tra 2000 e 900 K) come stelle L e T.

Spettri di Padre A. Secchi, S. J.



Si noti il rosso a sinistra (nell'uso astronomico odierno si mette di solito a destra)

Alcuni atlanti di spettri stellari

Atlante MKK:

- Spettri di prisma (dispersione non lineare), intervallo spettrale blu, dalla riga K del Ca II fino a H β
- Spettri allargati lungo la fenditura
- Emulsioni normali (sensibili al blu)

Atlante di Abt et al.:

- è sempre fotografico, ma di reticolo, per cui la dispersione è lineare

Atlante di Gray:

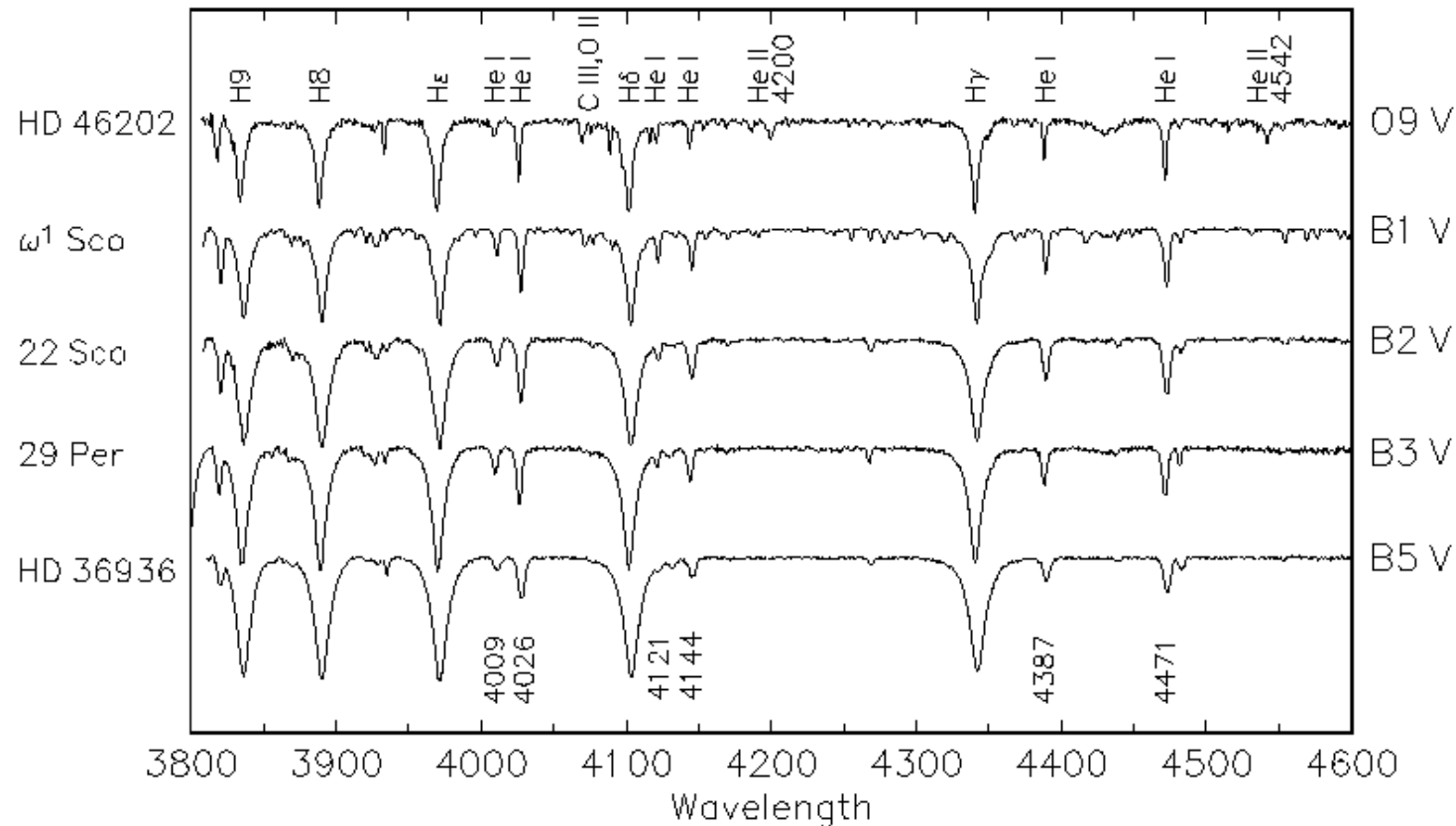
- Spettri di reticolo (dispersione lineare), arriva più nel giallo
- Tracciato spettrofotometrico
- Rivelatore CCD lineare
- Normalizzato a andamento costante (=1) del continuo

Alcuni esempi di spettri stellari

Gli esempi che seguono sono presi dall'Atlante di Gray

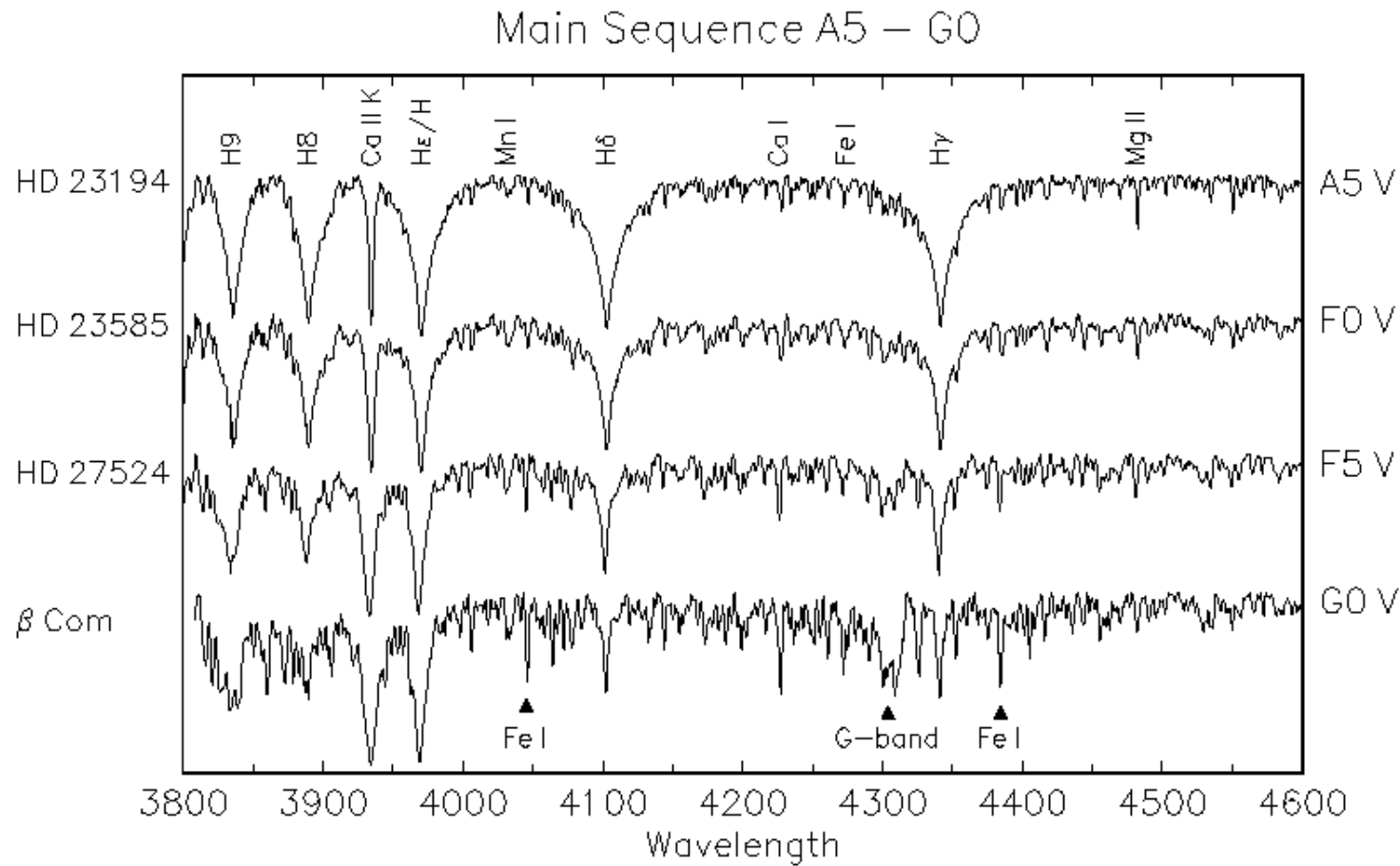
Esempi di spettri – tipi O9V – B5V

Main Sequence O9 – B5



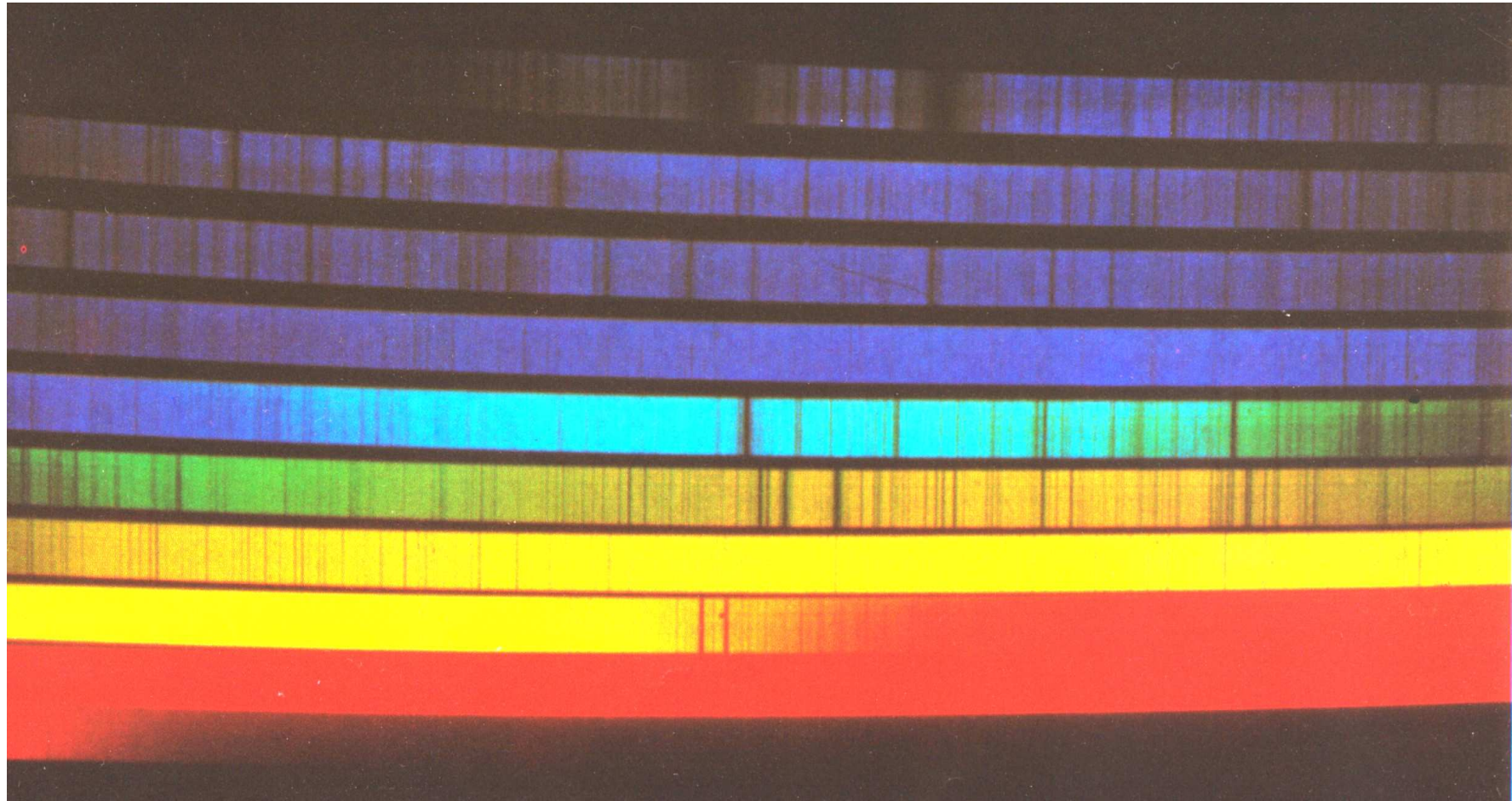
- $30.000 > T_{\text{eff}} > 11.000$ °K; HeI but no HeII; HeI decreases, maximum at B2, HI increases from B2 to B9, maximum at A2; Weaker lines: MgII4481, CII4267

Esempi di spettri – tipi A0V-G0V



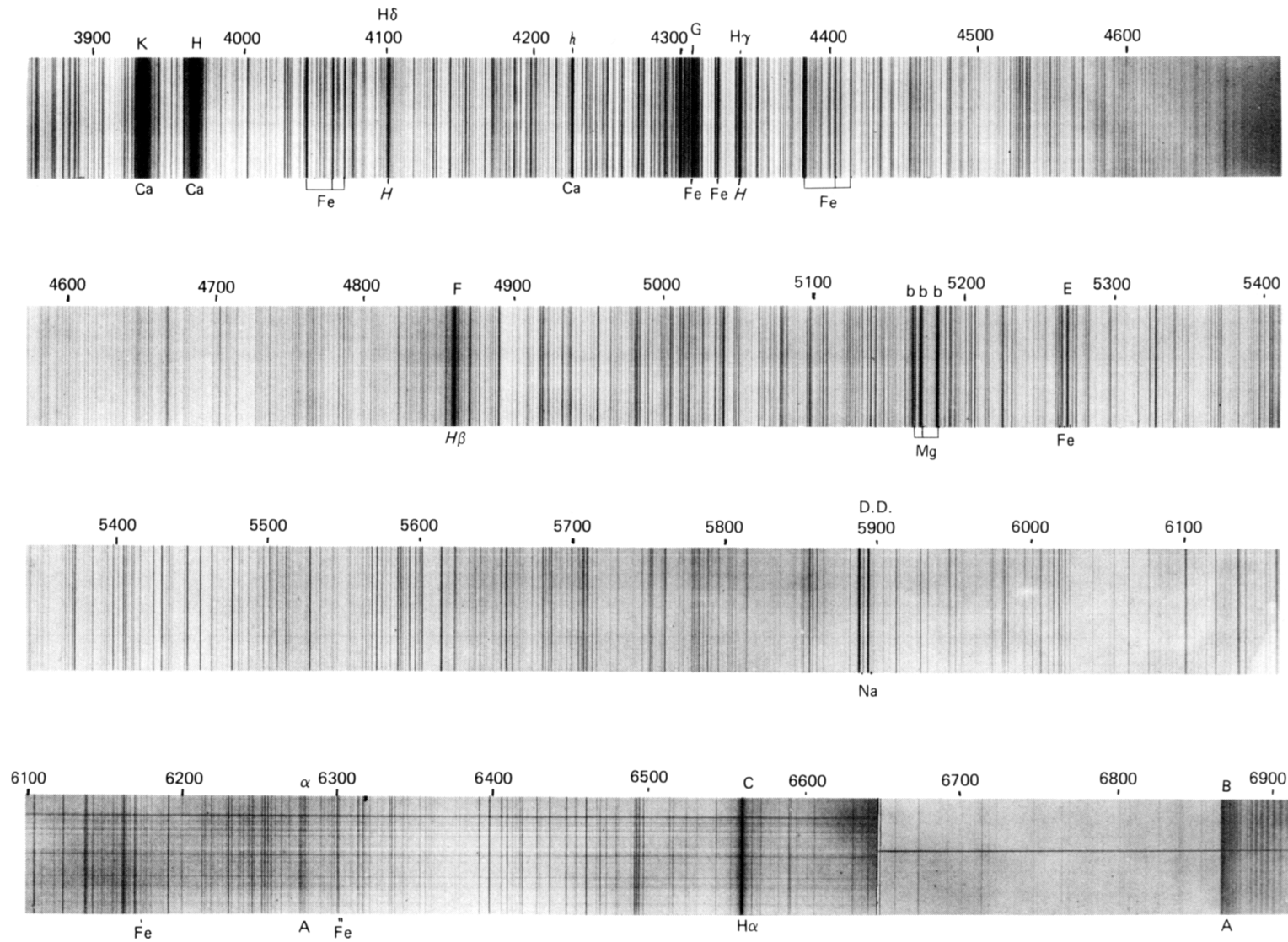
- For F-type, $7.500 > T_{\text{eff}} > 6.000$ °K
- For G-type, $6.000 > T_{\text{eff}} > 5.000$ °K; **Il Sole è una G2-V**

Lo spettro solare a colori

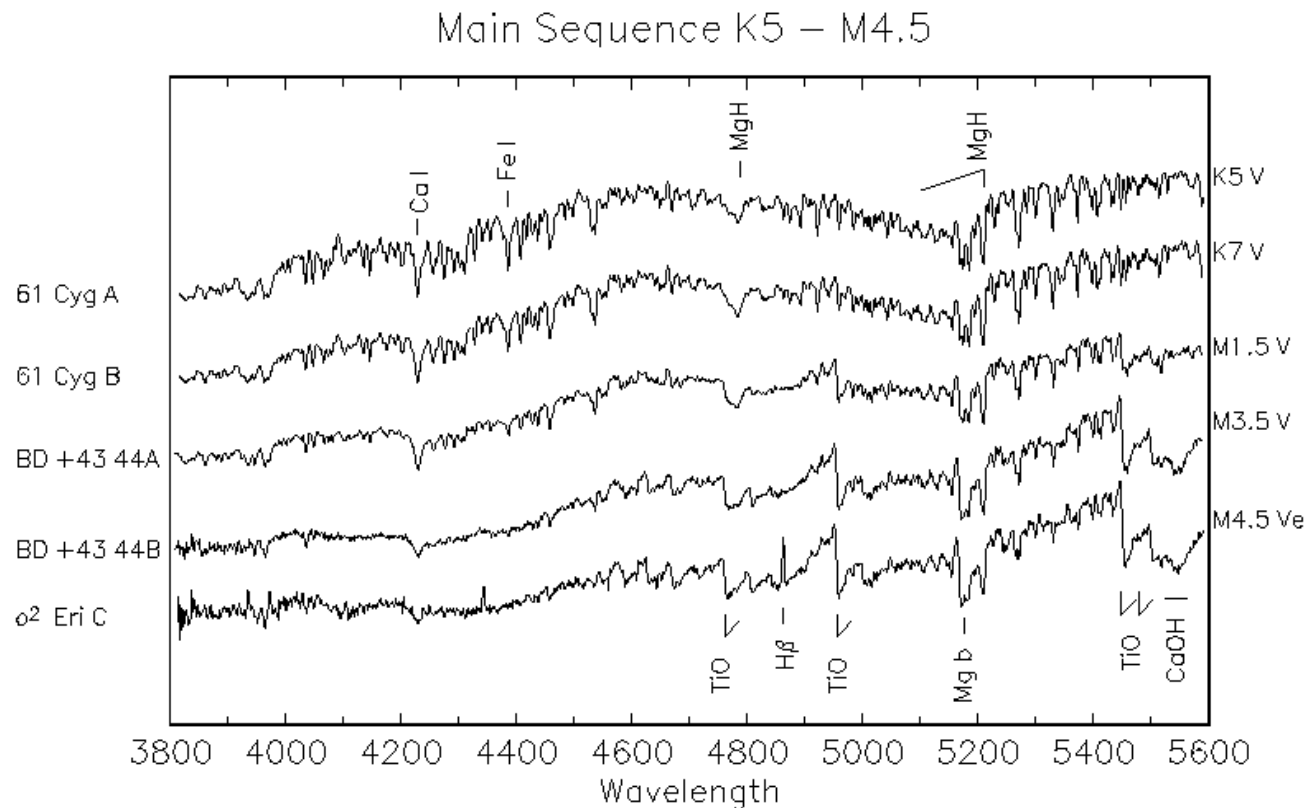


Questo è lo spettro solare dal violetto al vicino IR. Il continuo è solcato da righe di assorbimento (nere). In alto (violetto) le due forti righe H,K del CaII.

Lo spettro solare identificato



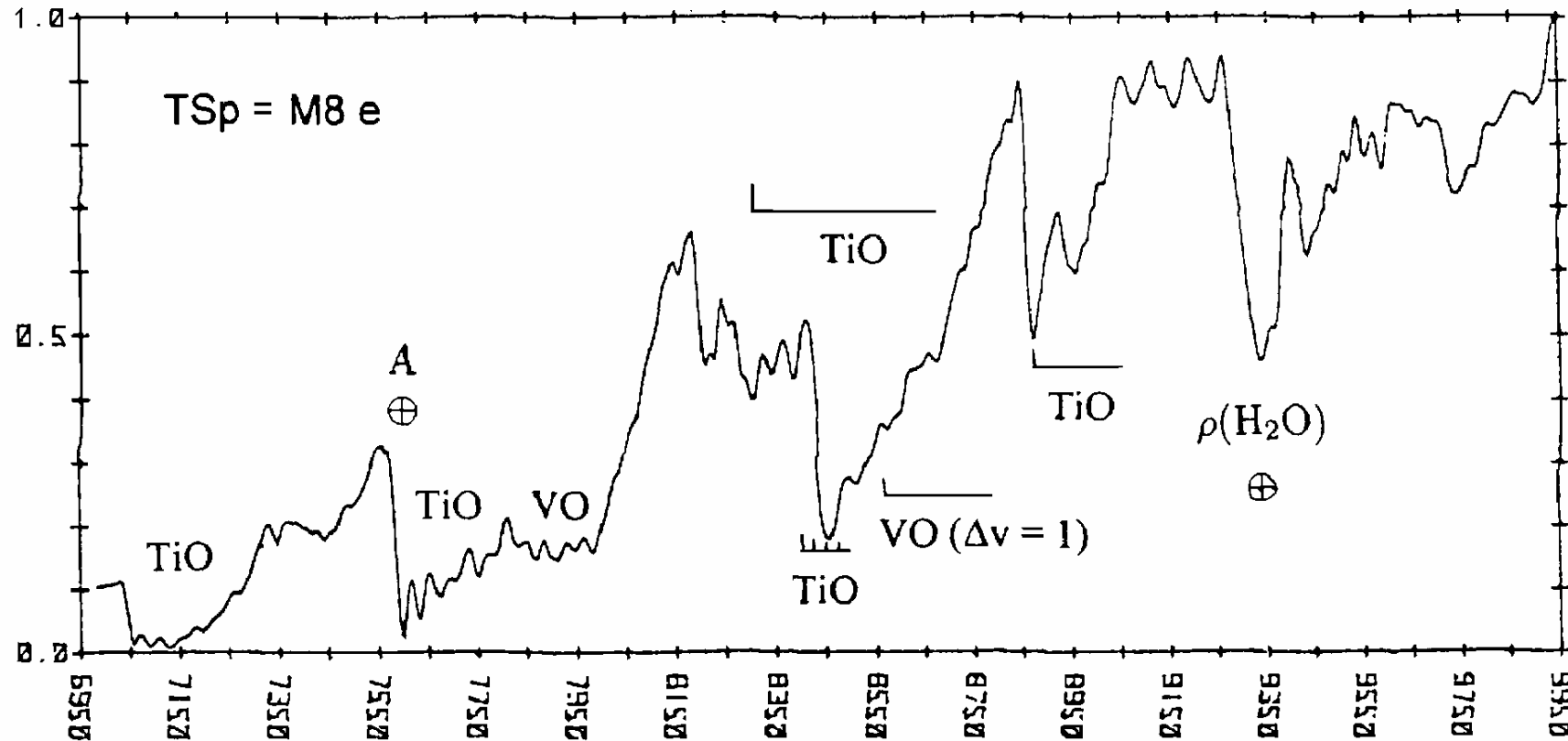
Esempi di spettri - K5V-M4.5V



- For K-type, $5.000 > T_{\text{eff}} > 4.000$ °K; For M-type, $4.000 > T_{\text{eff}} > 3.000$ °K

Lo spettro inizia a essere dominato dalle bande molecolari (ad es. ossidi di Titanio e Vanadio).

Spettro IR M8e (Asiago)

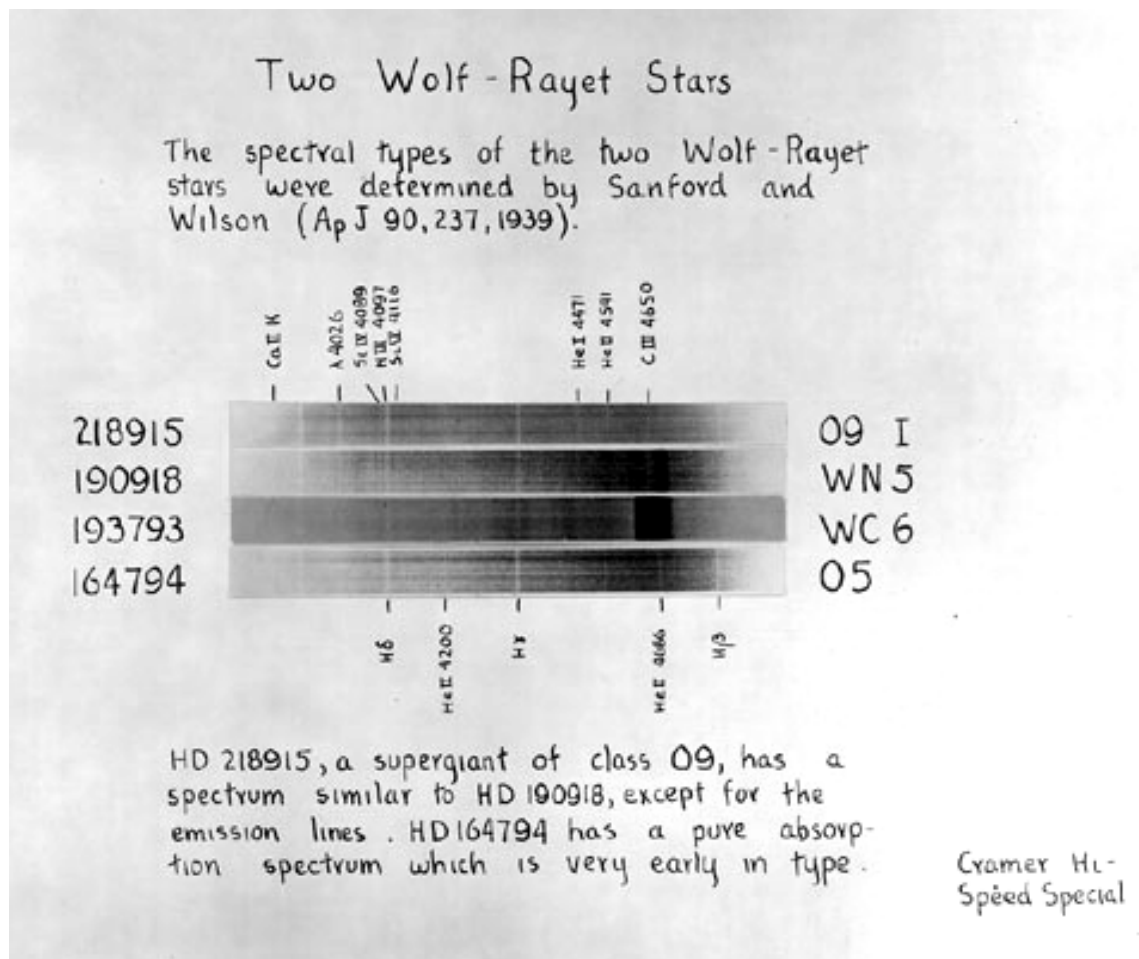


In questo spettro preso nel vicino IR, sono cospicue le bande degli ossidi di Ti e V, e gli assorbimenti *tellurici* (banda A dovuta a O_2 , banda ρ dovuta a H_2O).

Spettri peculiari

Le prossime diapositive mostrano alcuni esempi di spettri non classificabili nelle 7 classi principali.

Stelle Wolf-Rayet in MKK



Le stelle WR sono molto rare, caldissime (come si vede dal continuo) e luminosissime.

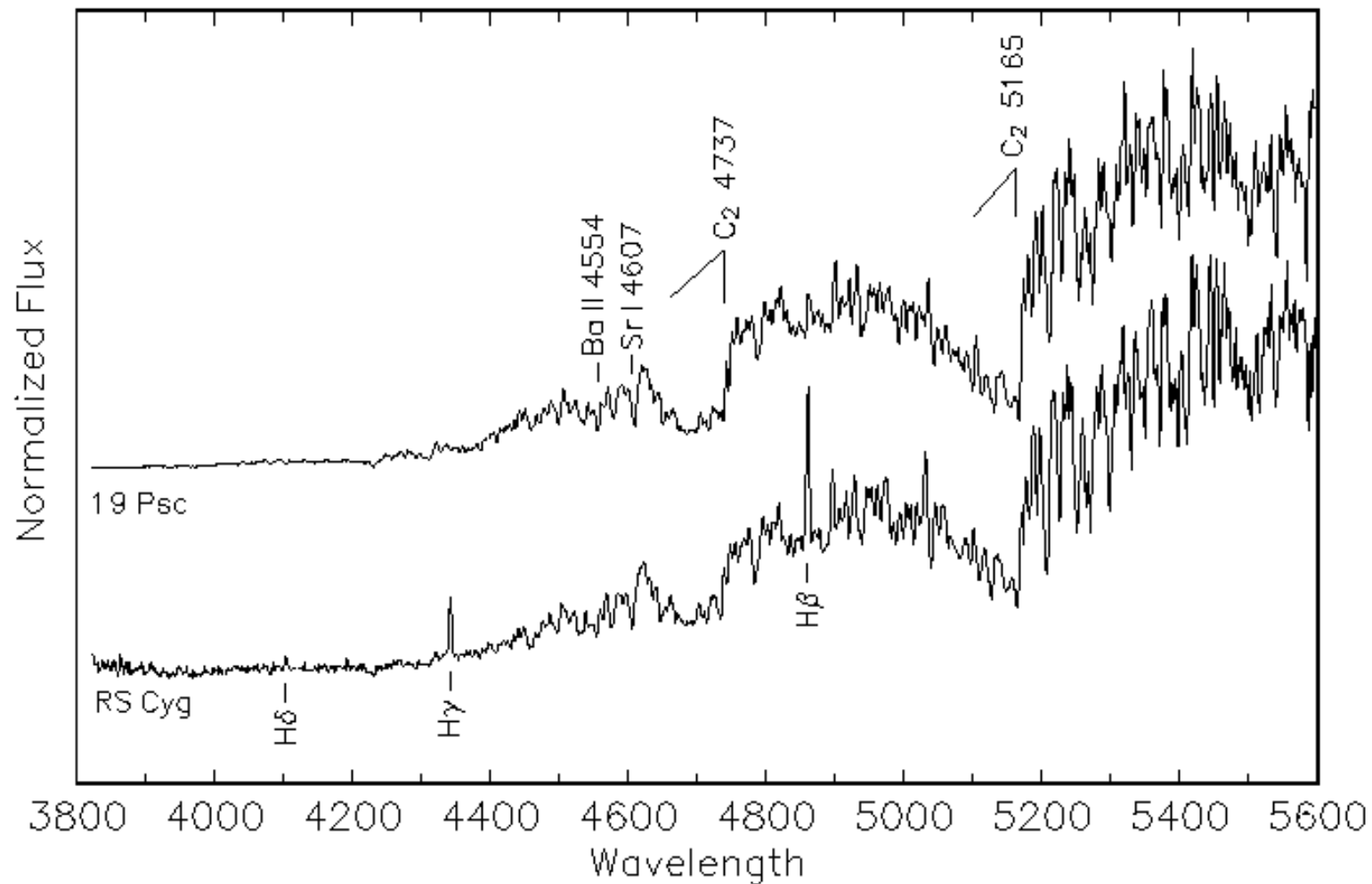
Se ne distinguono due tipi:

- Spettri N (HeII, HeI, NIII, NIV molto forte, NV, CIV)
- Spettri C (CII, CIII, CIV, HeI)

Questa figura è stata presa dall'atlante originale fotografico MKK

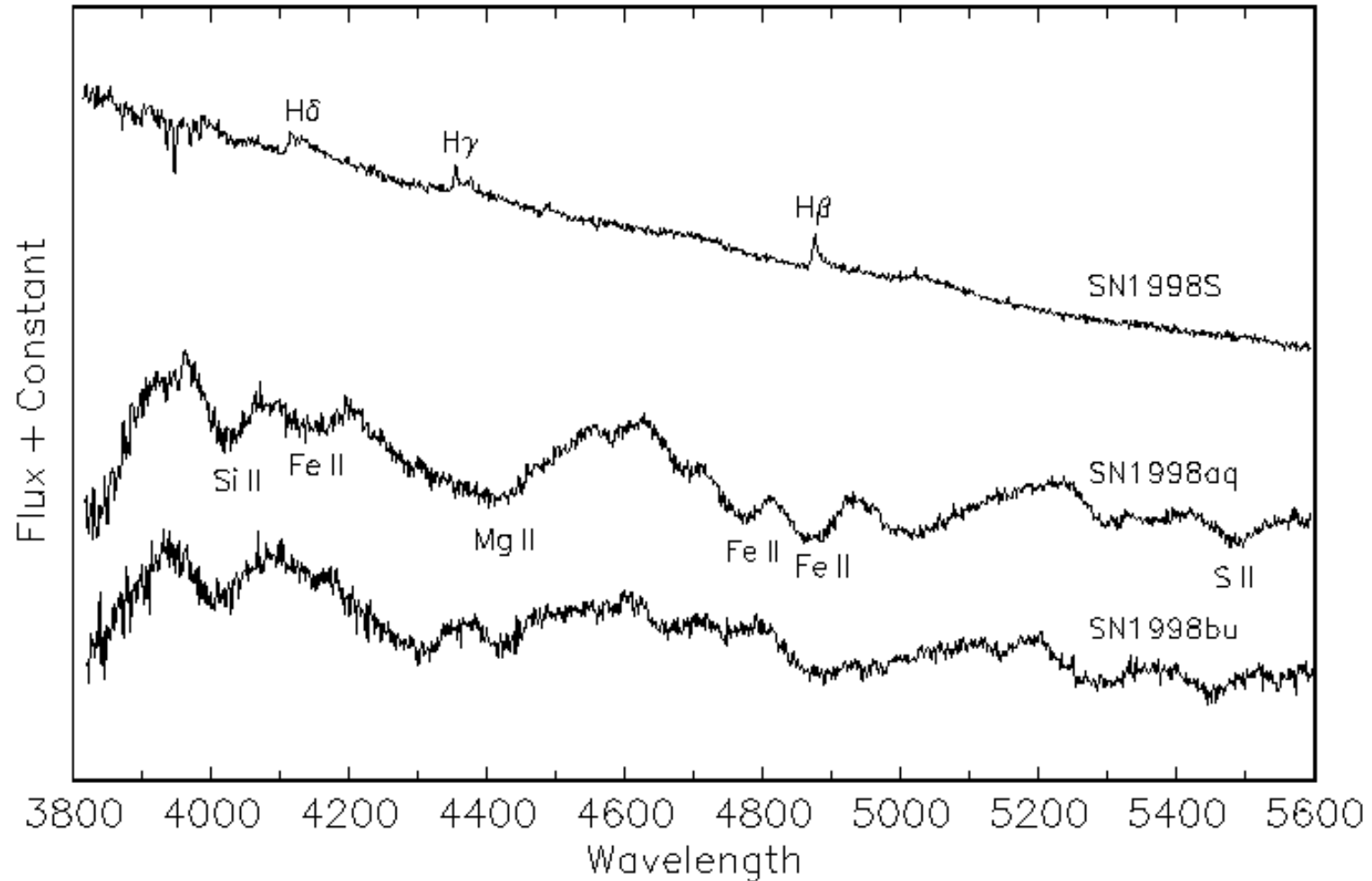
Due stelle al Carbonio (Gray)

Two Carbon Stars

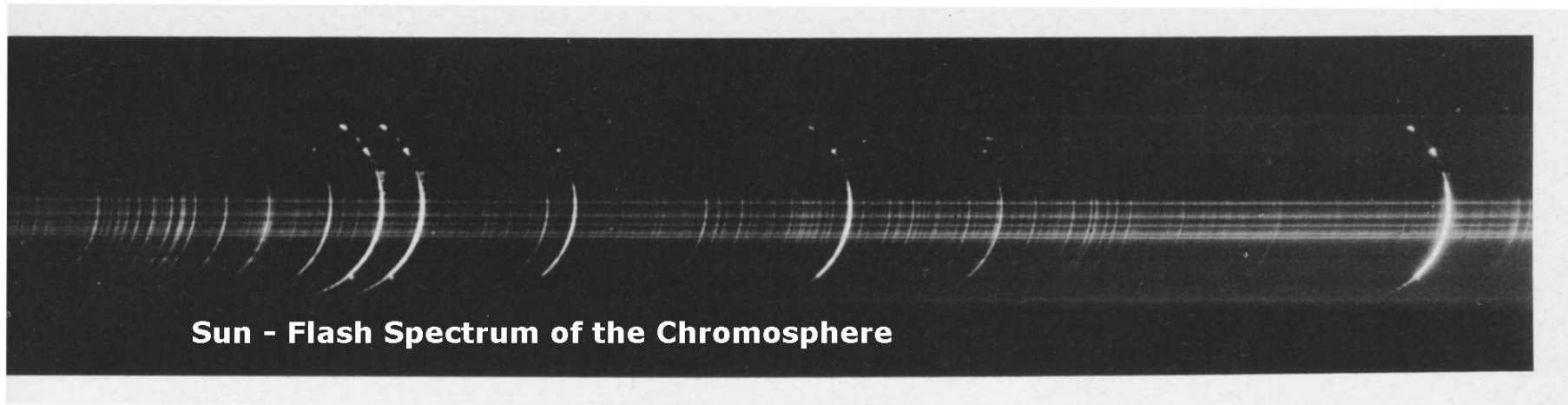


Spettri di tre Supernovae (Gray)

Three Bright Supernovae in 1998



Sole - Il Flash spectrum

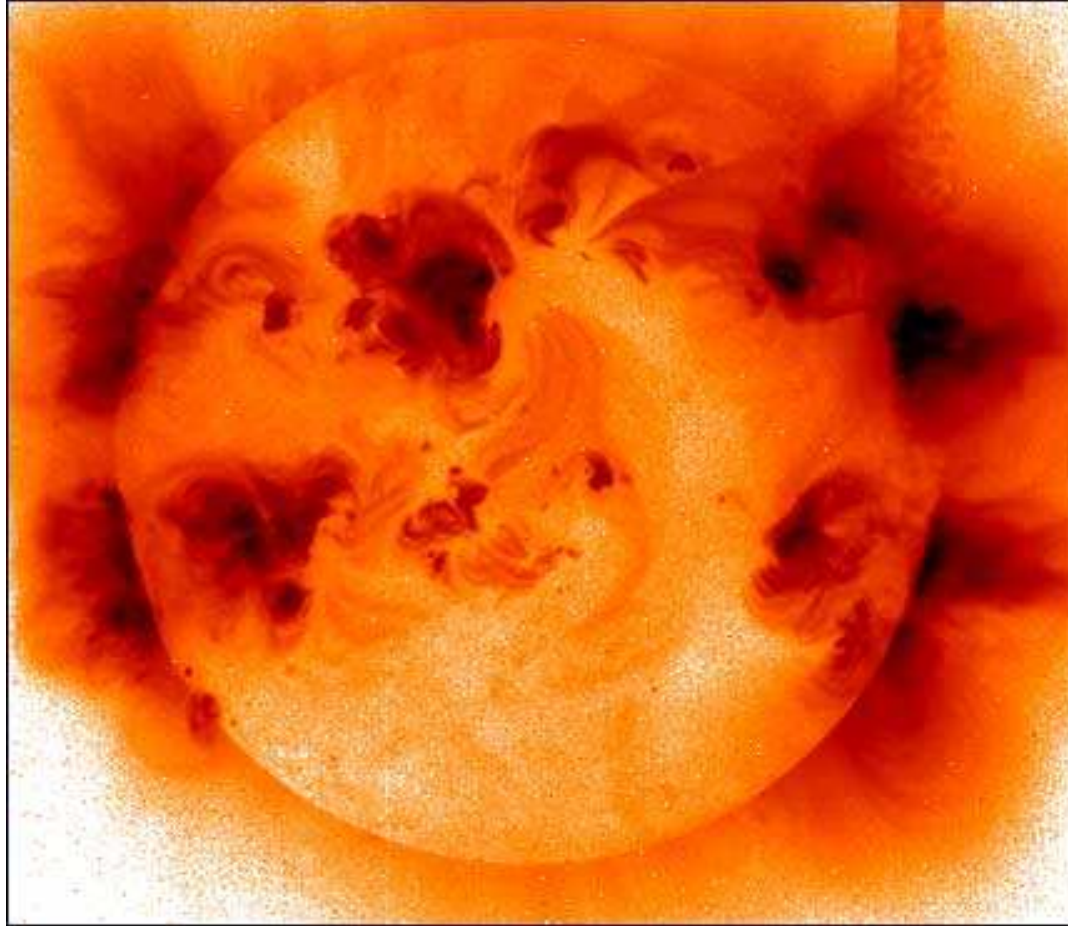


In questo spettro, ottenuto durante un'eclissi (ma le stesse osservazioni si possono fare anche con opportuni coronografi), il bordo solare diventa brillante, le righe passano in *emissione* e sono originate da elementi molto ionizzati. Ciò indica che gli strati appena sopra alla fotosfera sono molto più caldi (da 10.000 °K a 100.000 °K), della fotosfera, che ha $T = 5800$ K.

Dunque la fotosfera, in cui si originano gli assorbimenti, è sormontata da due regioni più calde, ma molto meno dense:

- la cromosfera
- la corona

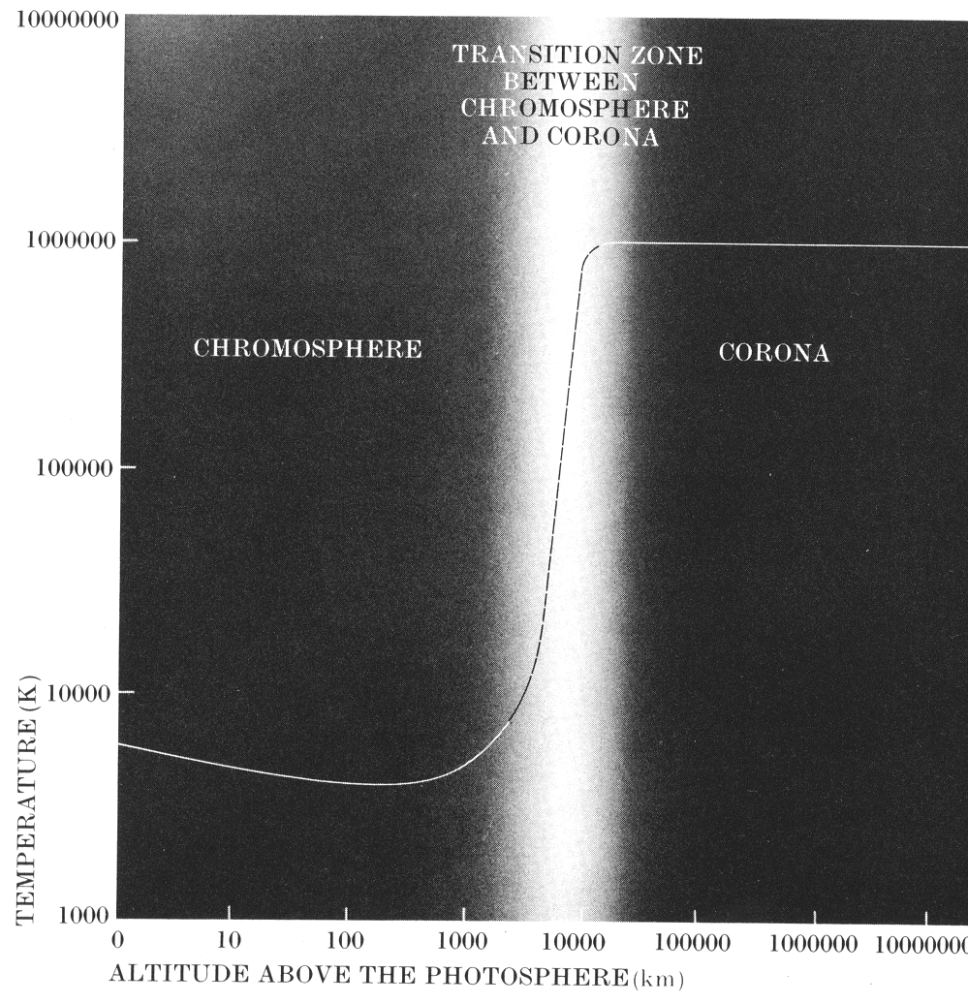
La corona solare in raggi X



- Gli spettri ottici della corona *e l'intensa emissione in raggi X* dimostrano che la ionizzazione dei gas coronali richiede temperature di circa 2 milioni di gradi. Si noti l'estensione spaziale, sino a circa 2 raggi solari.

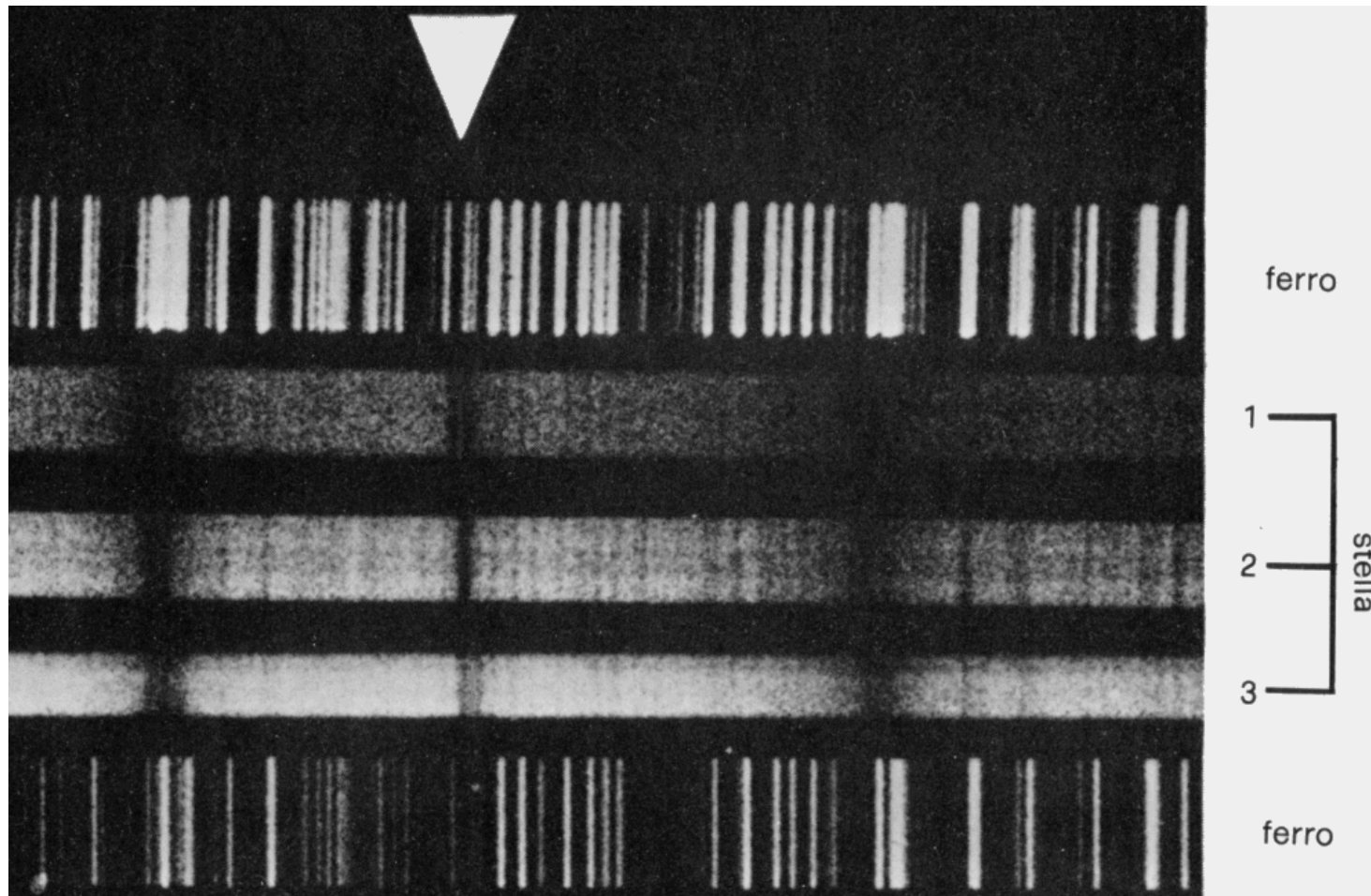
Immagine del Sole in raggi X dal satellite Yohkoh

L'andamento della temperatura nella cromosfera e corona



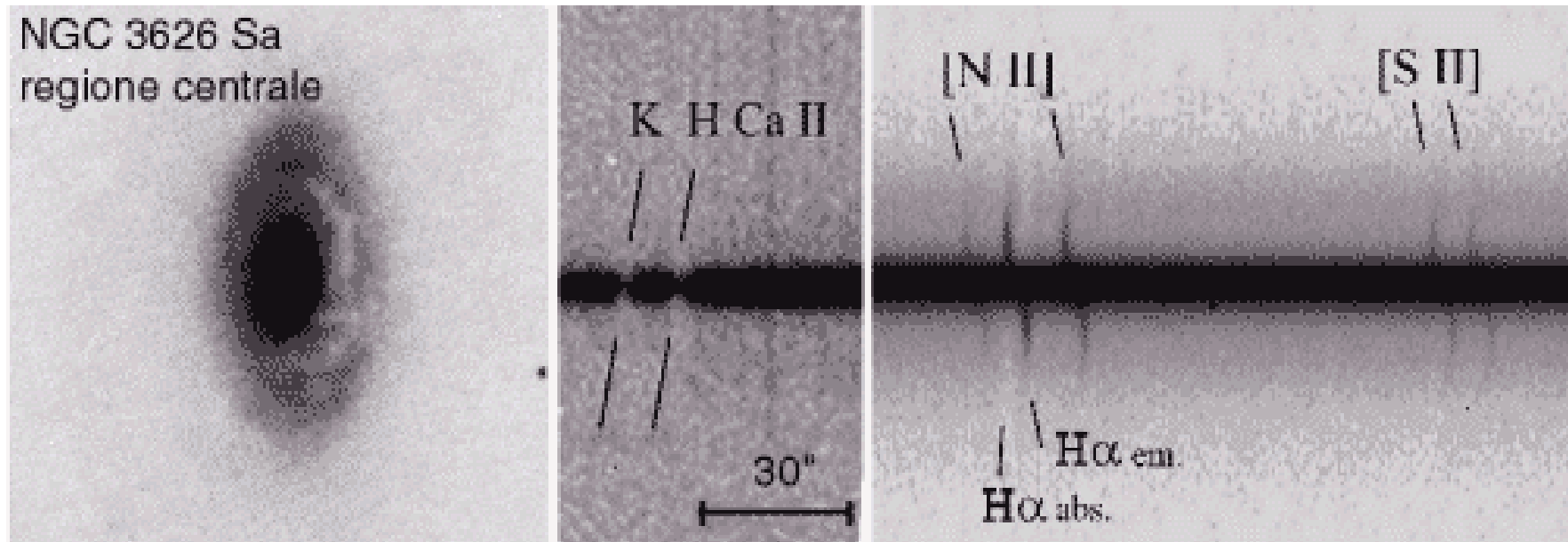
- Altre stelle, oltre al Sole, hanno emissione X proveniente da estese e calde corone.

Gli spetti come indicatori di dinamica stellare



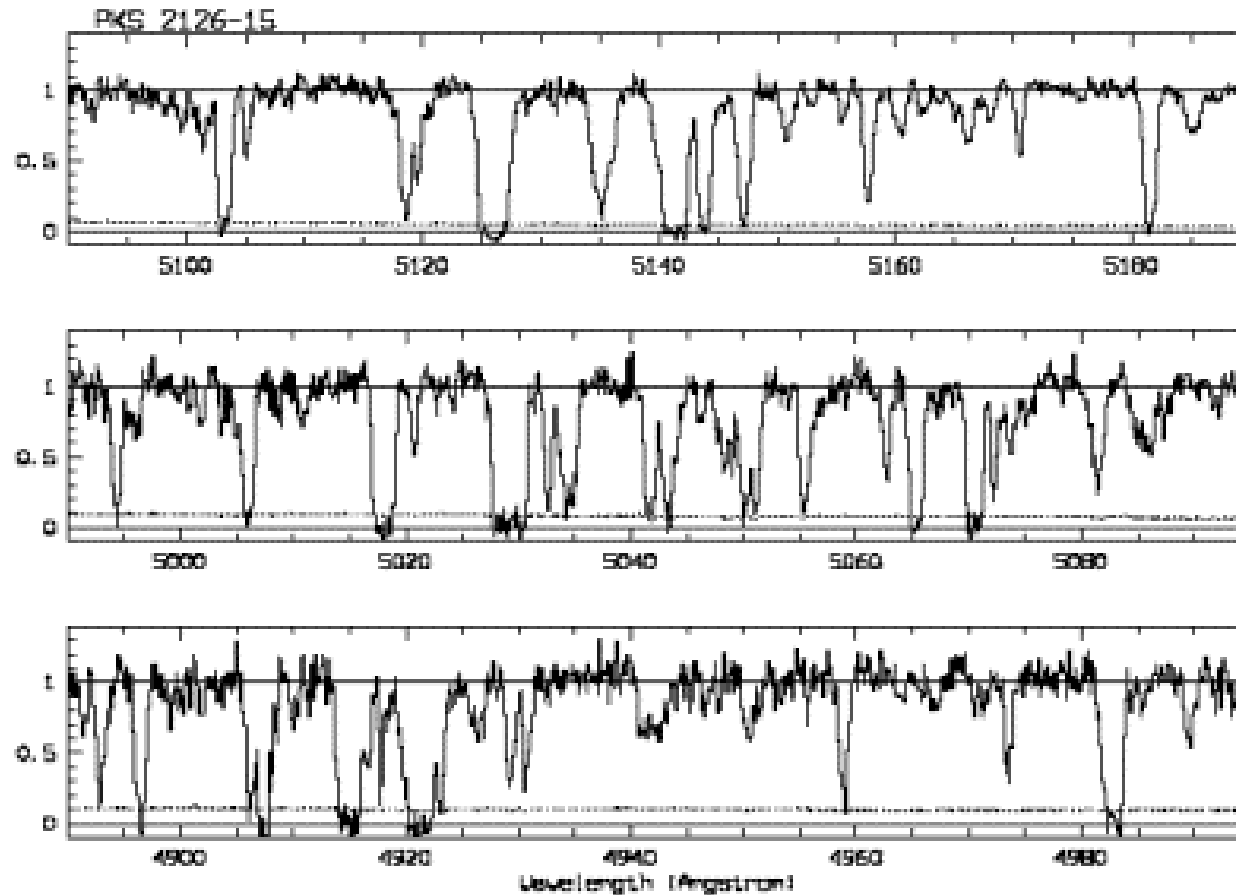
Le righe
spettrali si
sdoppiano,
indicando
che la stella
è doppia.
Dallo studio
dell'orbita
spettroscopic
a si può
risalire alle
masse delle
due stelle, e
in qualche
caso anche
ai raggi.

Gli spettri come indicatori di dinamica galattica



Essendo le galassie oggetti estesi, la fenditura risolve lungo la sua altezza regioni diverse. La lunghezza d'onda cresce lungo l'asse orizzontale, mentre la direzione perpendicolare mostra le diverse zone di galassia attraversate dalla fenditura dello spettrografo. In questo caso è evidente che le regioni gassose (righe in emissione) in alto hanno velocità radiale molto minore di quelle in basso), e per di più diverse da quelle delle stelle (gli assorbimenti).

Gli spettri come indicatori di abbondanze cosmologiche



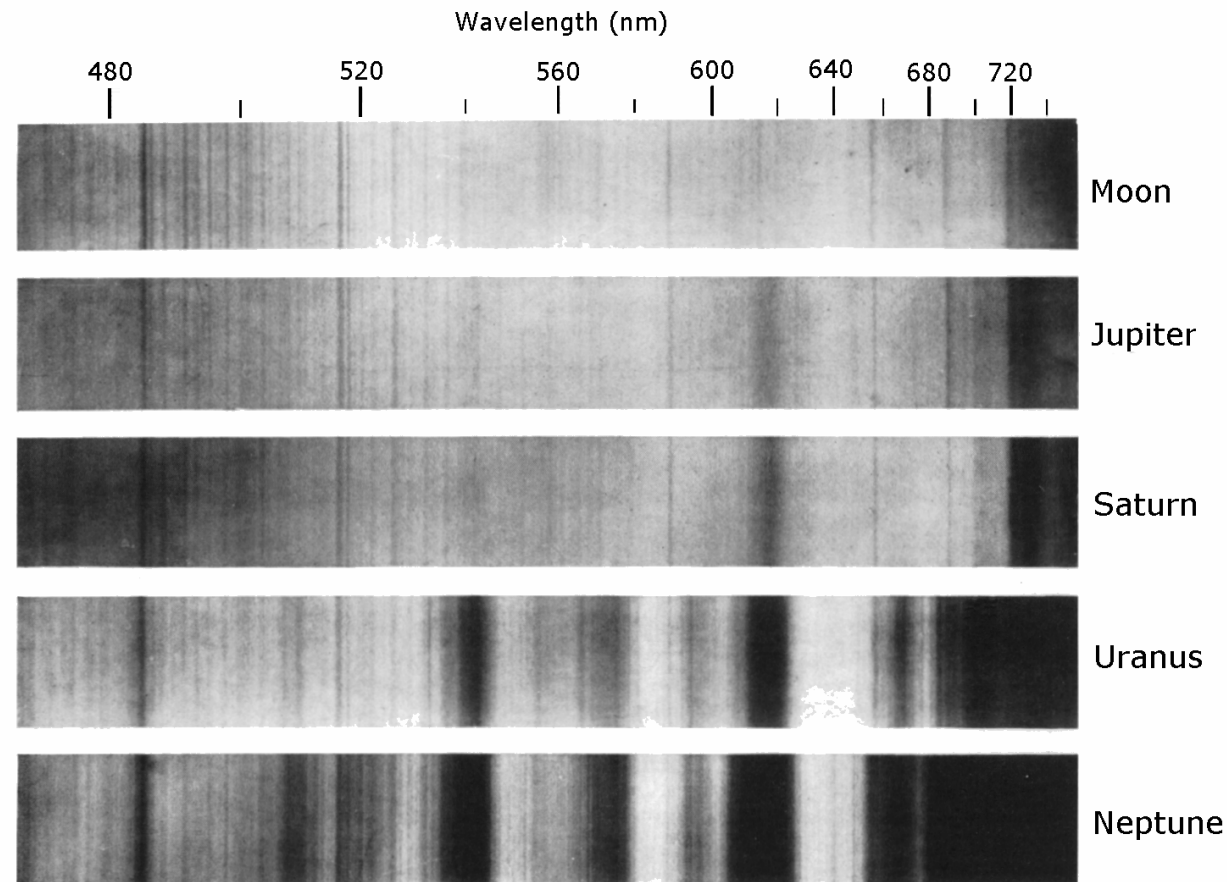
L'espansione dell'Universo porta nel visibile la regione UV dello spettro di un Quasar, permettendo di misurare le abbondanze chimiche a un'epoca molto remota.

Spettri di pianeti e altri oggetti del Sistema Solare

Dato che i corpi del Sistema solare sono molto più freddi del Sole, nel loro spettro assumono particolare rilevanza *le molecole*.

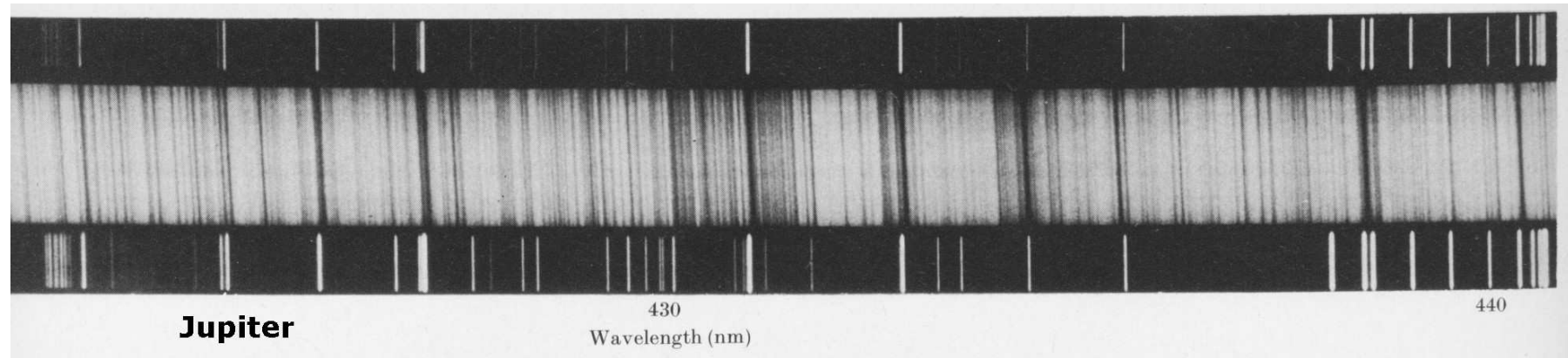
Lo spettro solare riflesso dalle superfici solide (es. Luna, gli asteroidi) ha sovrapposte delle bande larghe di assorbimento dovute alla *composizione mineralogica*. Tali bande sono poco profonde, e il loro studio osservativo molto delicato.

Spettri a bassa risoluzione di Luna e pianeti



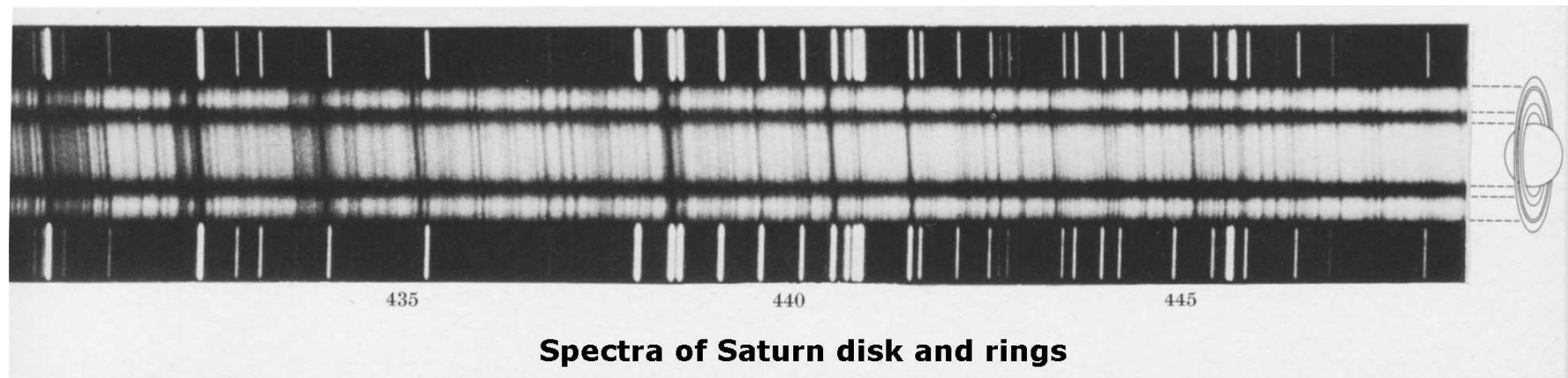
Gli assorbimenti molecolari sono soprattutto ammoniaca (NH_3) e metano (C_2H_4). Si noti il forte assorbimento rosso di Nettuno, che dà al pianeta il caratteristico colore verdastro.

Spettro blu di Giove



Spettro di Giove nel blu (sopra e sotto, le righe della lampada di confronto). Le righe del pianeta sono inclinate a causa della sua rotazione. Gli assorbimenti sono in parte quelli solari, e in parte quelli propri dell'atmosfera gioviana, soprattutto ammoniaca (NH_3) e metano (C_2H_4).

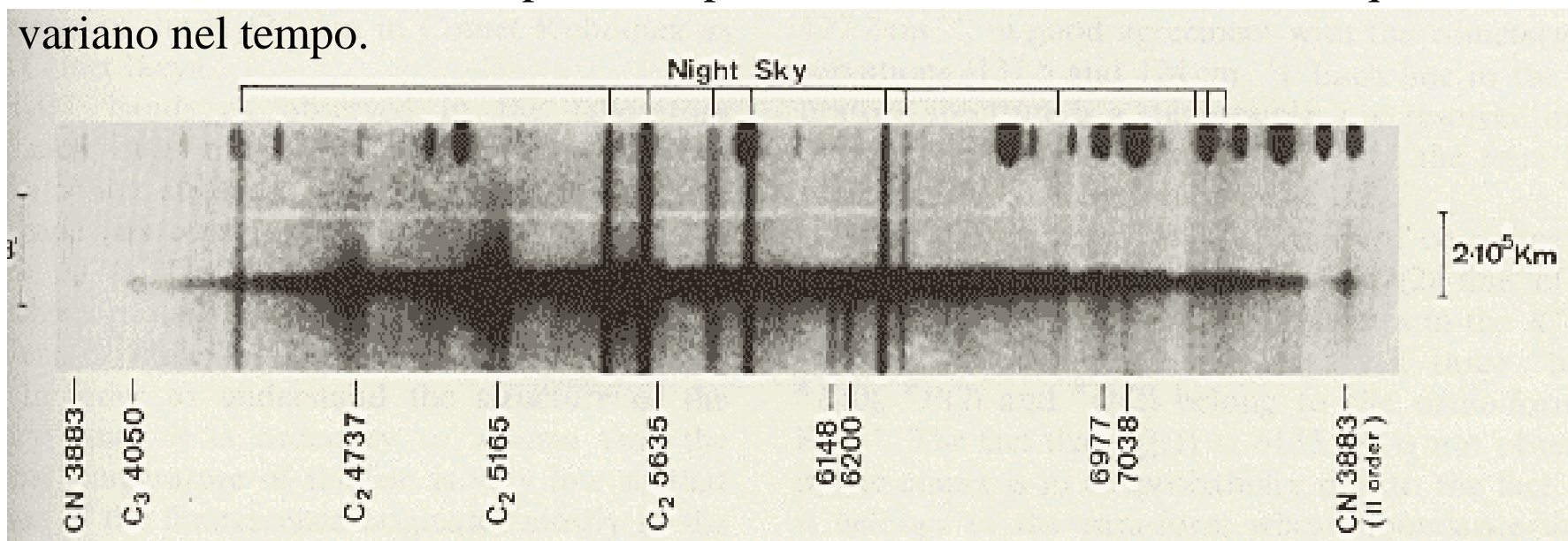
Spettro blu di Saturno e anelli



Spettro blu di Saturno, con la fenditura che interessa anche gli anelli (sopra e sotto, spettro di confronto). Misurando l'inclinazione delle righe si può vedere che gli anelli non ruotano come un unico corpo rigido, ma secondo la terza legge di Keplero. Pertanto gli anelli sono costituiti da particelle dinamicamente indipendenti.

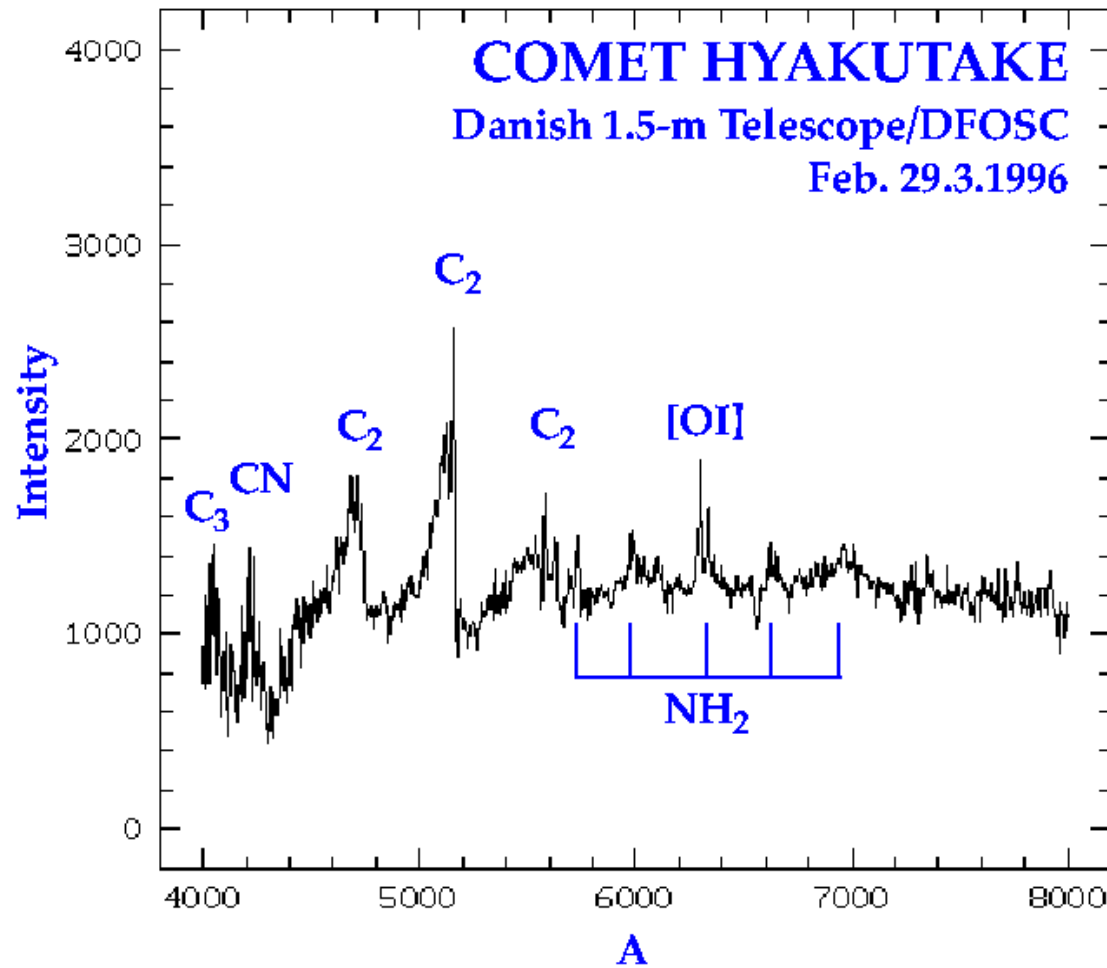
Spettri cometari

- La cometa è un oggetto esteso, per cui la fenditura dello spettrografo può registrare lungo la sua altezza regioni cometarie dalle proprietà molto diverse, cioè nucleo, chioma e coda.
- Inoltre, le caratteristiche spettrali dipendono dalla distanza dal Sole, e quindi variano nel tempo.



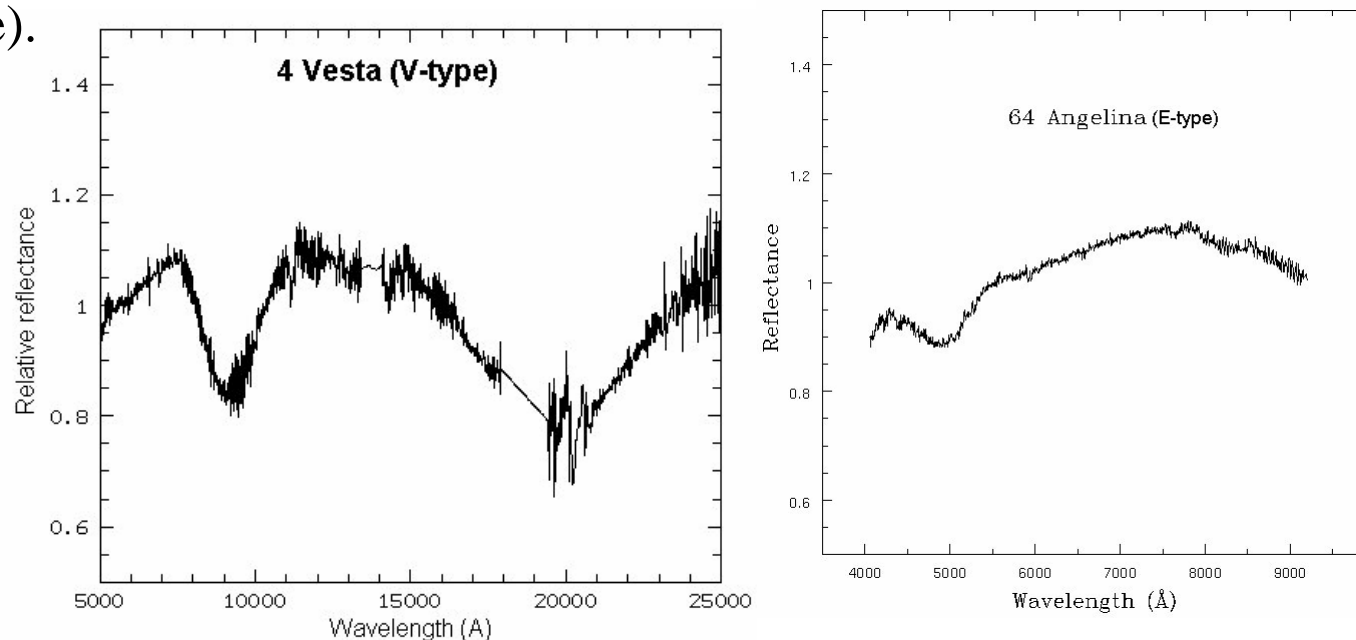
Lo spettro ottenuto a Asiago) è relativo a una cometa in cui si scoprì lo ione H_2O^+ . Si notino le forti bande del cielo notturno, e la scala in km sulla cometa.

Spettro Digitale di Cometa



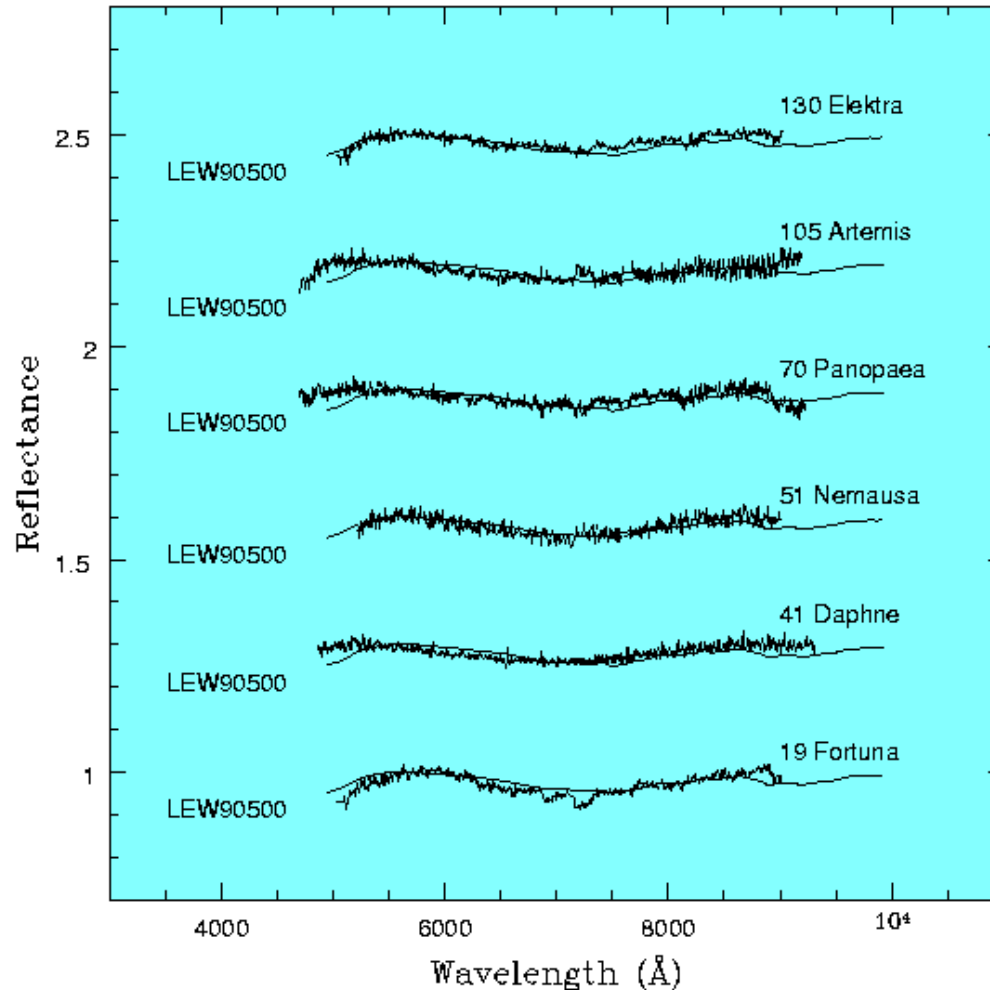
Spettri di Asteroidi

- Gli spettri degli asteroidi nel visibile sono ancora di tipo diverso, cioè sono di riflettanza, come quello della Luna. Sono quindi luce solare riflessa, con lievi modifiche dovute ai minerali superficiali. Invece, nel lontano IR lo spettro sarà quello di emissione termica di un corpo nero a temperatura molto bassa (e dipendente dalla distanza al Sole).

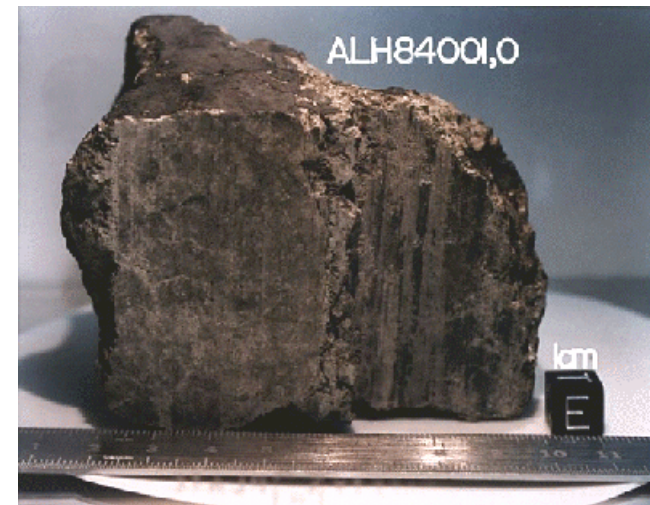


Vesta, tipo V (banda a 1 micron di olivina e pirossene + forte banda a 2 micron per elevata percentuale di pirossene). Angelina, tipo E, con banda peculiare a 0.5 micron di origine non ancora ben determinata (forse troilite, FeS)

Spettri di asteroidi e di meteoriti



Spesso è utile fare un confronto tra gli spettri di asteroidi e quelli dei meteoriti. Dai meteoriti si sono ricavate molte informazioni sulla composizione solare.



Il meteorite AL840010 è molto probabilmente di origine marziana.