

Lezione Fermi 8

Luciano Maiani, AA 14-15

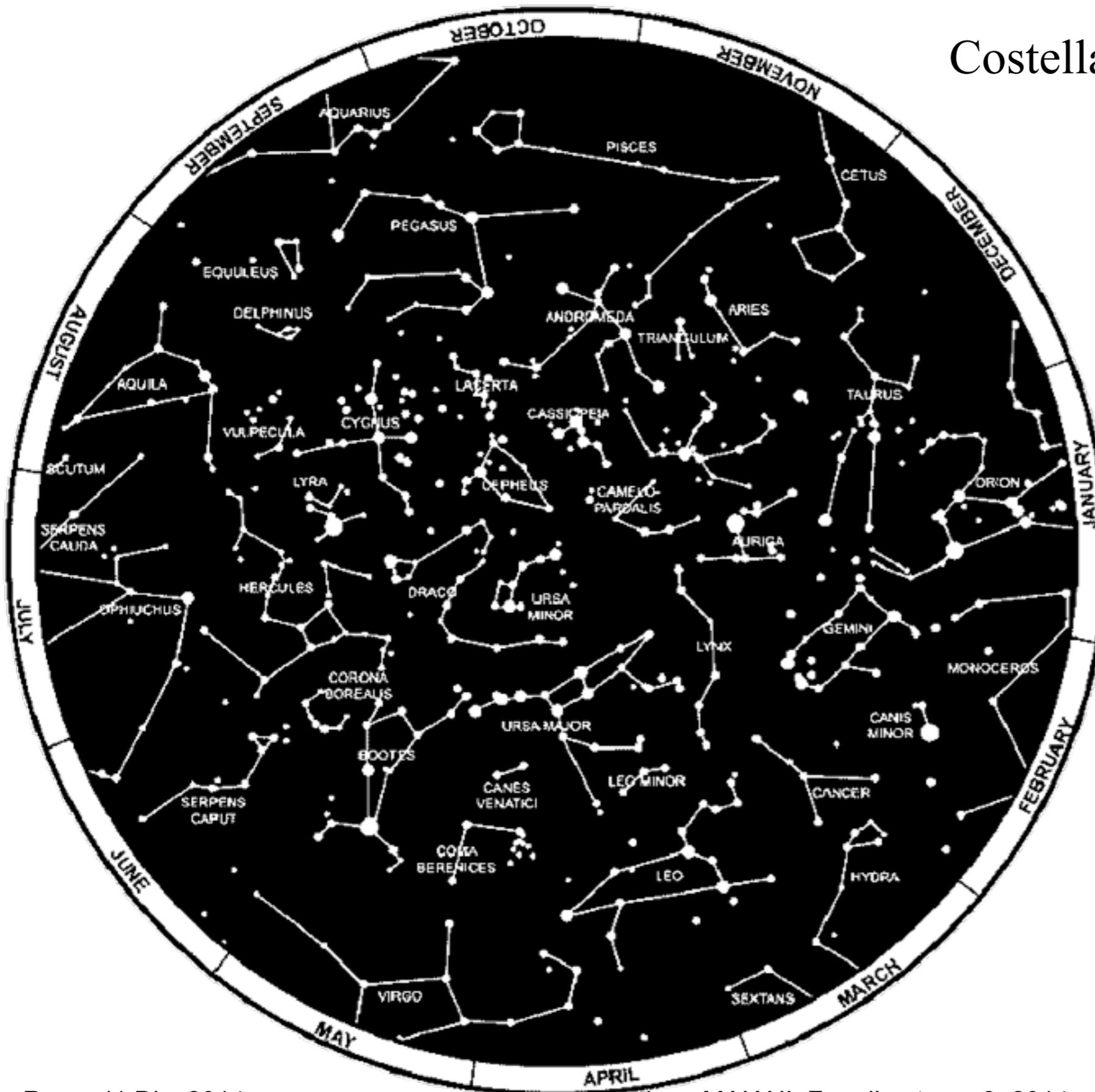
Episodi nella vita delle Stelle

Sommario

1. Le stelle che vediamo
2. La magnitudo visuale
3. Magnitudo assoluta e colore
4. Il diagramma di Hertzsprung-Russell
5. Una contraddizione solo apparente
6. Classi di luminosita': parallasse spettroscopica
7. Conclusioni: oggetti compatti

1. Le stelle che vediamo

Costellazioni dell'emisfero nord



- Nel cielo possiamo vedere ad occhio nudo, in una notte chiara e senza luna, circa 2000 stelle
- le piu' luminose disegnano le "costellazioni", gruppi di stelle individuati fin dai tempi piu' antichi e in tutti i luoghi del mondo ed associate ad eventi mitologici
- le stelle non sono diverse solo per la "luminosita'" ma anche per il colore: Sirio (Cane Maggiore) e' bianca, Aldebaran (Toro) e' rossa, Betelgeuse (Orione) e' rosso-arancione....

Le magnitudo visuale

- In base alla luminosità, Ipparco e poi Tolomeo, divide le stelle in sei classi: primo, secondo, ... sesto grado, le stelle un grado sono 2 volte più brillanti di quelle del grado seguente

- $b_n = 2 b_{(n+1)} \rightarrow b_n = b_1(1/2)^{n-1} \rightarrow$

- $n-1 = -\log(b_n / b_1) / \log(2) \approx -3.3 \log(b_n / b_1)$

- la classe è quindi legata al **logaritmo** della brillantezza (apparente), cresce al suo diminuire

- 1856, Norman Robert Pogson, definisce “magnitudo visuale” da 1 a 6, stipulando che

- $b(6)/b(1) = (1/100) = r^{m(6)-m(1)} \rightarrow r = (1/100)^{1/5} \approx 1/2.51$

- $m(b) - m(b_1) = -\log(b/b_1) \cdot 5 / \log(100) = -2.5 \log(b/b_1)$

- se prendiamo come riferimento la brillantezza di una stella fissata, che è stata per qualche tempo la stella Vega (alfa Lyrae), cui attribuiamo magnitudo = 0 abbiamo:

- $m = -2.5 \log(b/b_{\text{Vega}})$



Le stelle piu' brillanti nel cielo e le loro magnitudo apparenti

The 20 Brightest Stars in the Sky

Common Name	Luminosity Solar Units	Distance LY	Spectral Type	Proper Motion arcsec / year	R. A. hours min	Declination deg min
Sirius	40	9	A1V	1.33	06 45.1	-16 43
Canopus	1500	98	F0I	0.02	06 24.0	-52 42
Alpha Centauri	2	4	G2V	3.68	14 39.6	-60 50
Arcturus	100	36	K2III	2.28	14 15.7	+19 11
Vega	50	26	A0V	0.34	18 36.9	+38 47
Capella	200	46	G5III	0.44	05 16.7	+46 00
Rigel	80,000	815	B8Ia	0.00	05 12.1	-08 12
Procyon	9	11	F5IV-V	1.25	07 39.3	+05 13
Betelgeuse	100,000	500	M2Iab	0.03	05 55.2	+07 24
Achernar	500	65	B3V	0.10	01 37.7	-57 14
Beta Centauri	9300	300	B1III	0.04	14 03.8	-60 22
Altair	10	17	A7IV-V	0.66	19 50.8	+08 52
Aldeberan	200	20	K5III	0.20	04 35.9	+16 31
Spica	6000	260	B1V	0.05	13 25.2	-11 10
Antares	10,000	390	M1Ib	0.03	16 29.4	-26 26
Pollux	60	39	K0III	0.62	07 45.3	+28 02
Fomalhaut	50	23	A3V	0.37	22 57.6	-29 37
Deneb	80,000	1400	A2Ia	0.00	20 41.4	+45 17
Beta Crucis	10,000	490	B0.5IV	0.05	12 47.7	-59 41
Regulus	150	85	B7V	0.25	10 08.3	+11 58

Source: Fraknoi, Morrison, and Wolff, Appendix 11

Sun	-26.74
100 Watt bulb at 100 ft	-13.70
Moon (full)	-12.73
Venus	-4.22
Jupiter	-2.60
Mars	-2.02
Sirius	-1.45
Mercury	-0.20
Alpha Centuri	-0.10
Vega	0.00
Saturn	0.70
Polaris (North Star)	2.00
Stars in Big Dipper	1.8 to 3.3
Andromeda galaxy	3.50
Uranus	5.50
Naked eye visibility limit	6.00
Neptune	7.90
Crab Nebula	8.60
3C273 (brightest quasar)	12.80
Pluto	14.90
Ground telescope limit	25.00
Hubble Telescope limit	28.00

se il cielo fosse un tappeto stellato...



SS. Quattro Coronati, Roma: Il Giudizio Universale

- la magnitudo apparente sarebbe tutto
- ma in un Universo tridimensionale la magnitudo apparente non da' una misura "intrinseca" della luminosita'
- il Sole non e' la stella piu' luminosa del cielo
- ma solo la piu' vicina



3. Magnitudo assoluta

$$b = \frac{L}{4\pi D^2}, [b] = \text{energia} \times \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}, [L] = \text{energia} \times \text{sec}^{-1}$$

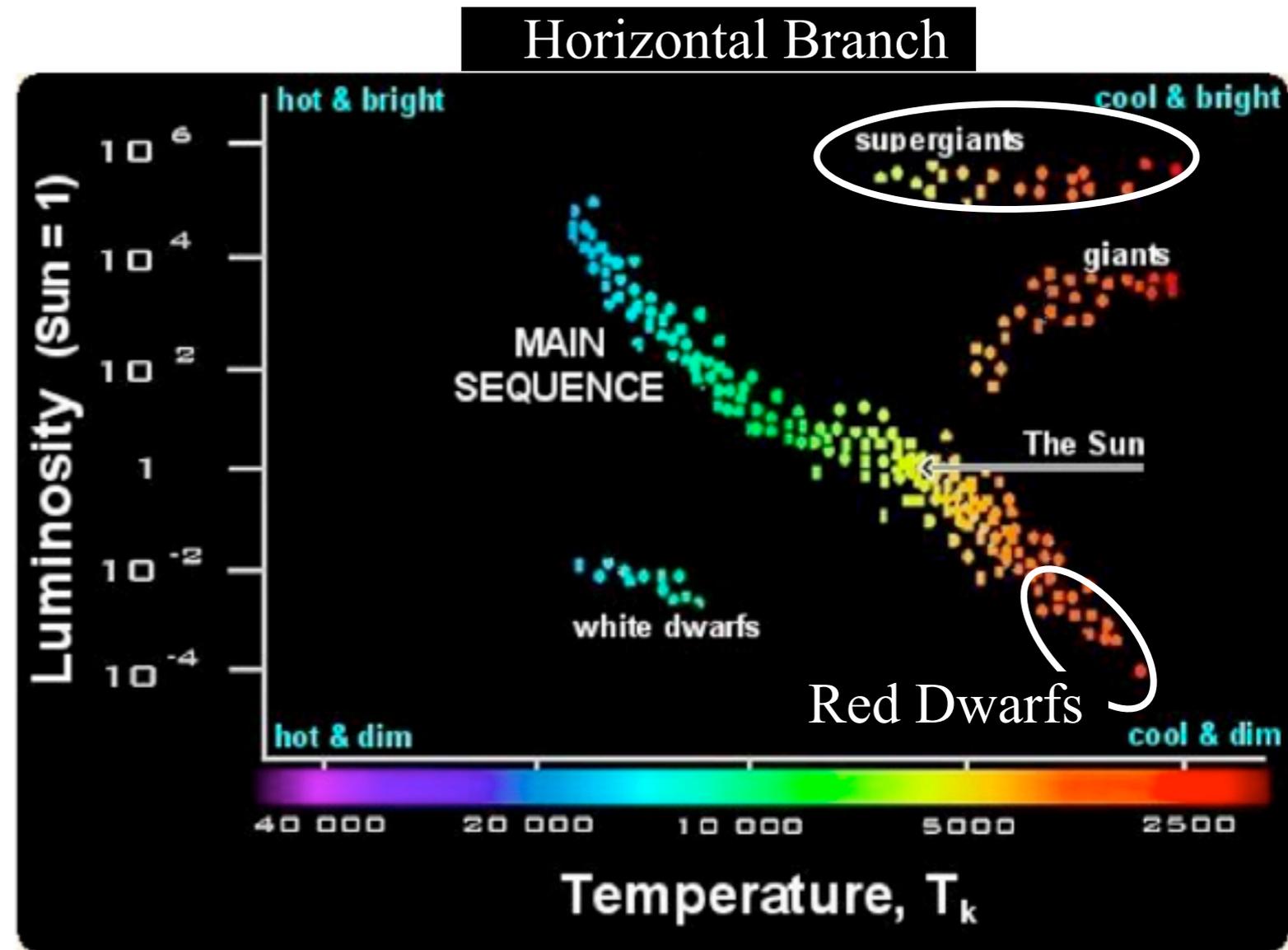
- pre classificare le stelle in modo “intrinseco” serve una misura di L
- se conosciamo la distanza D (vedremo poi come si fa) possiamo definire un magnitudo assoluta, M, come la magnitudo visuale che vedremmo se la stella fosse ad una distanza di 10 parsec da noi
 - 1 parsec ≈ 3.26 anni luce $\approx 206 \cdot 10^3$ UA, 1 UA = distanza Terra-Sole
- quindi dobbiamo riscalarare la brillantezza apparente:
 - $b \rightarrow b \cdot D^2 / (10 \text{ pc})^2$, ovvero: $M = m - 2.5 \cdot 2 \log(D / (10 \text{ pc})) = m + \text{distance modulus}$
 - Sole, $D = 1$ UA: $M = -26,74 + 5(\log(206) + 4) = 4.83$
 - Sirio, $D = 9$ anni luce: $M = -1.45 - 5 \log(0.27) = 1.34$
 - $L_{\text{Sirio}} / L_{\text{Sole}} = 10^{+(4.83-1.34)/2.5} \approx 25$

Colore= Classi Spettrali

- se non ci sono velocità importanti, il colore non dipende dalla distanza
- ma prevalentemente dalla temperatura
- e in parte anche dalla composizione (metallicità)
- classi spettrali O B A F G K M (politically correct: Oh Boy Another Fine Girl/Guy Kissed Me,)
- vanno dal violetto al rosso (la temperatura scende)
- ***Diagramma di Hertzsprung -Russell*** (1911): scatter plot di luminosità vs colore
- le stelle non sono disposte a caso, ma secondo regioni ben definite
- quando H-R è stato scoperto non si conosceva l'origine dell'energia delle stelle
- adesso possiamo interpretarlo: racconta la storia delle diverse stelle, a seconda della loro massa iniziale
- ***Una Foto di Famiglia***

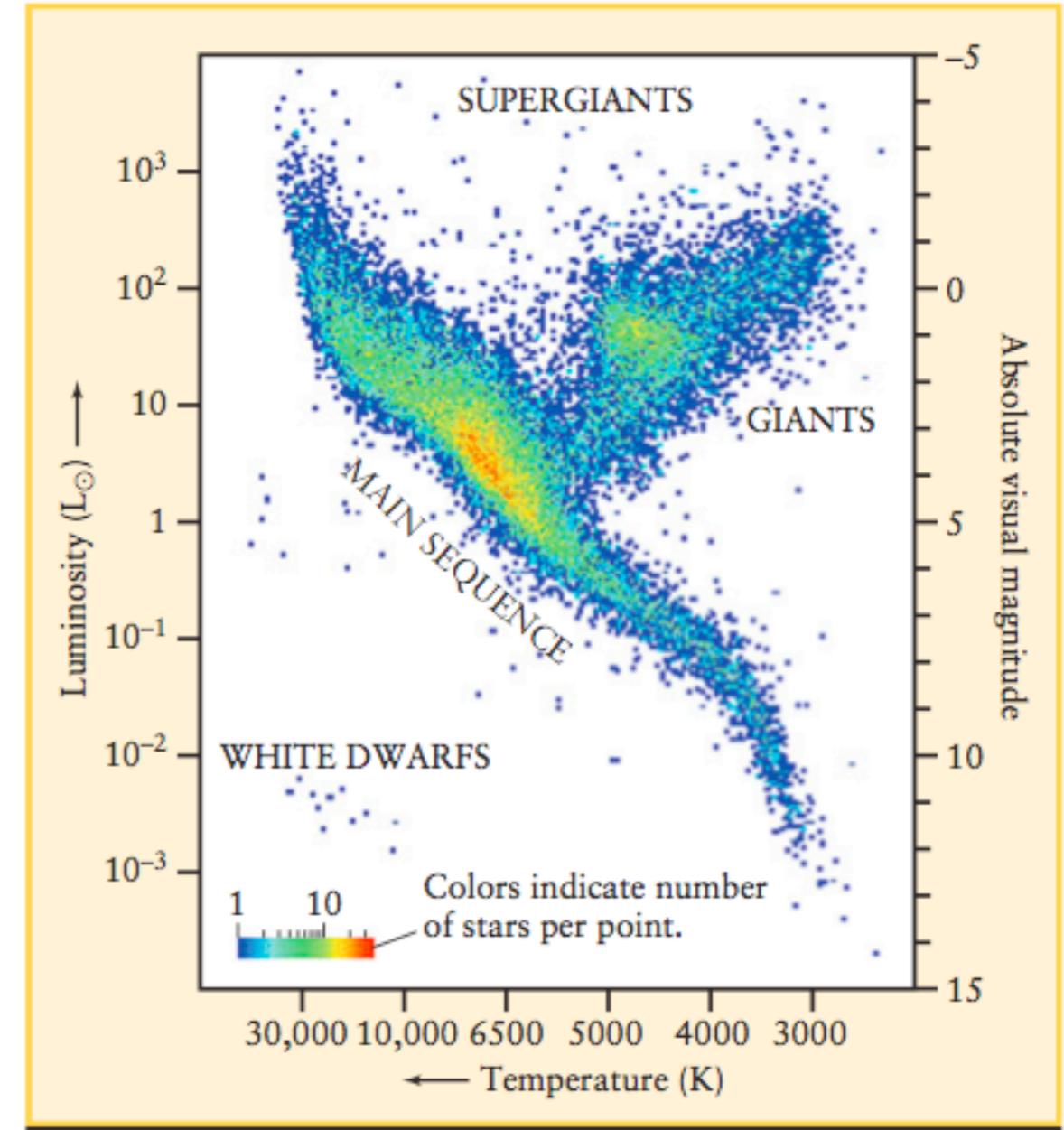
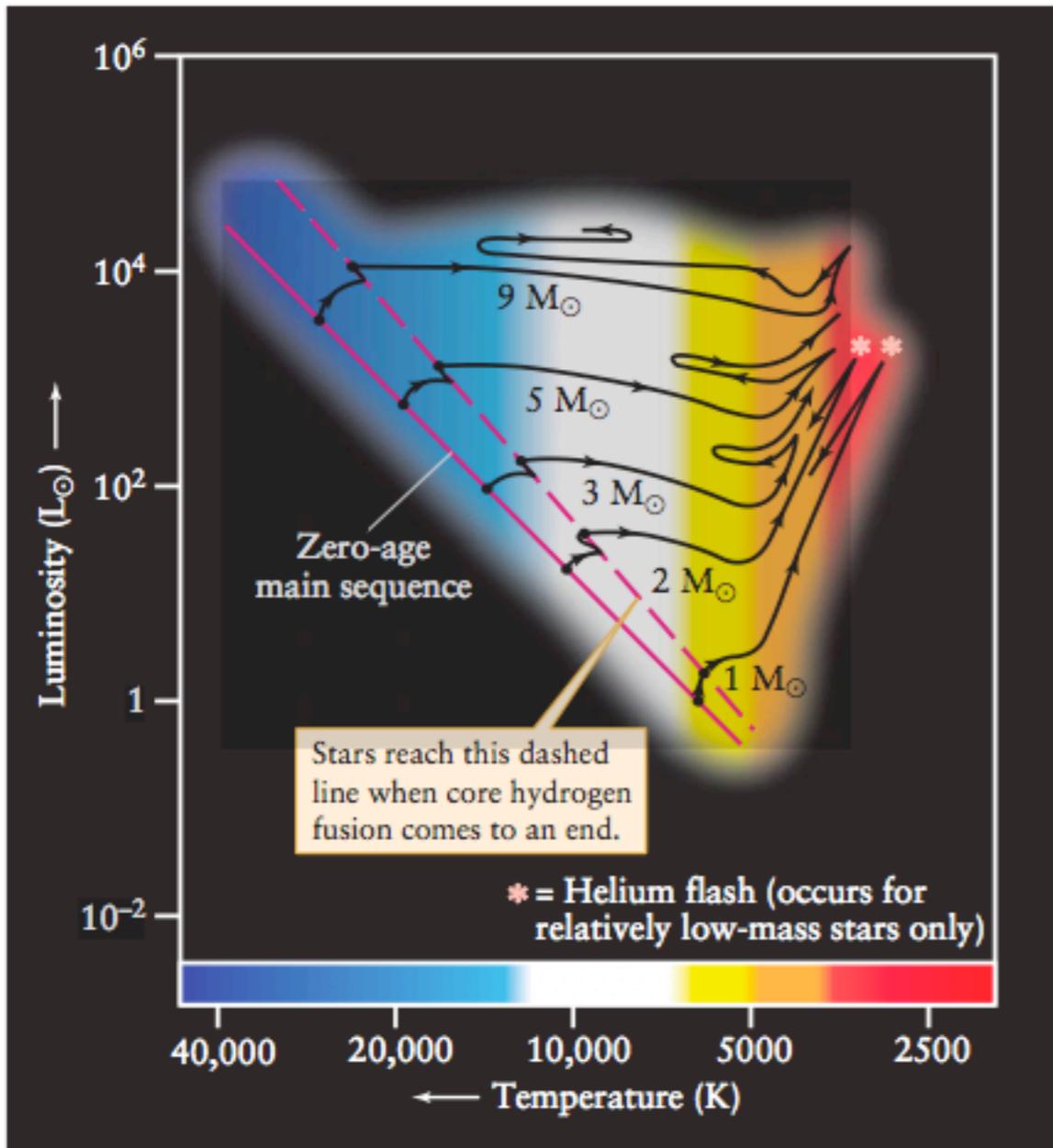
4. Il Diagramma di Hertzsprung-Russel

- Sequenza Principale: fusione di H nel core
- giganti rosse: fusione di H in una shell intorno al core di Elio
- supergiganti: flash di Elio, fusione di Elio nel core
- nane bianche: il core e' sostenuto dalla pressione di Fermi degli elettroni, non c'e' piu' fusione
- Main Sequence, masse tra 0.4 e 0.08 masse solari, classi K e M: nane rosse (Red Dwarfs). Bruciano H senza formare un core di Elio perche' la convezione mescola l'atmosfera
- stanno li' per miliardi di anni



The HR diagram is the "Rosetta Stone" of stellar astronomy. Simply put, it plots a star's luminosity against its surface temperature. As simple as that sounds, it is the key to understanding stellar evolution.

Dalla ZAMS in poi



(a) Post-main-sequence evolutionary tracks of five stars with different mass

(b) H-R diagram of 20,853 stars—note the width of the main sequence

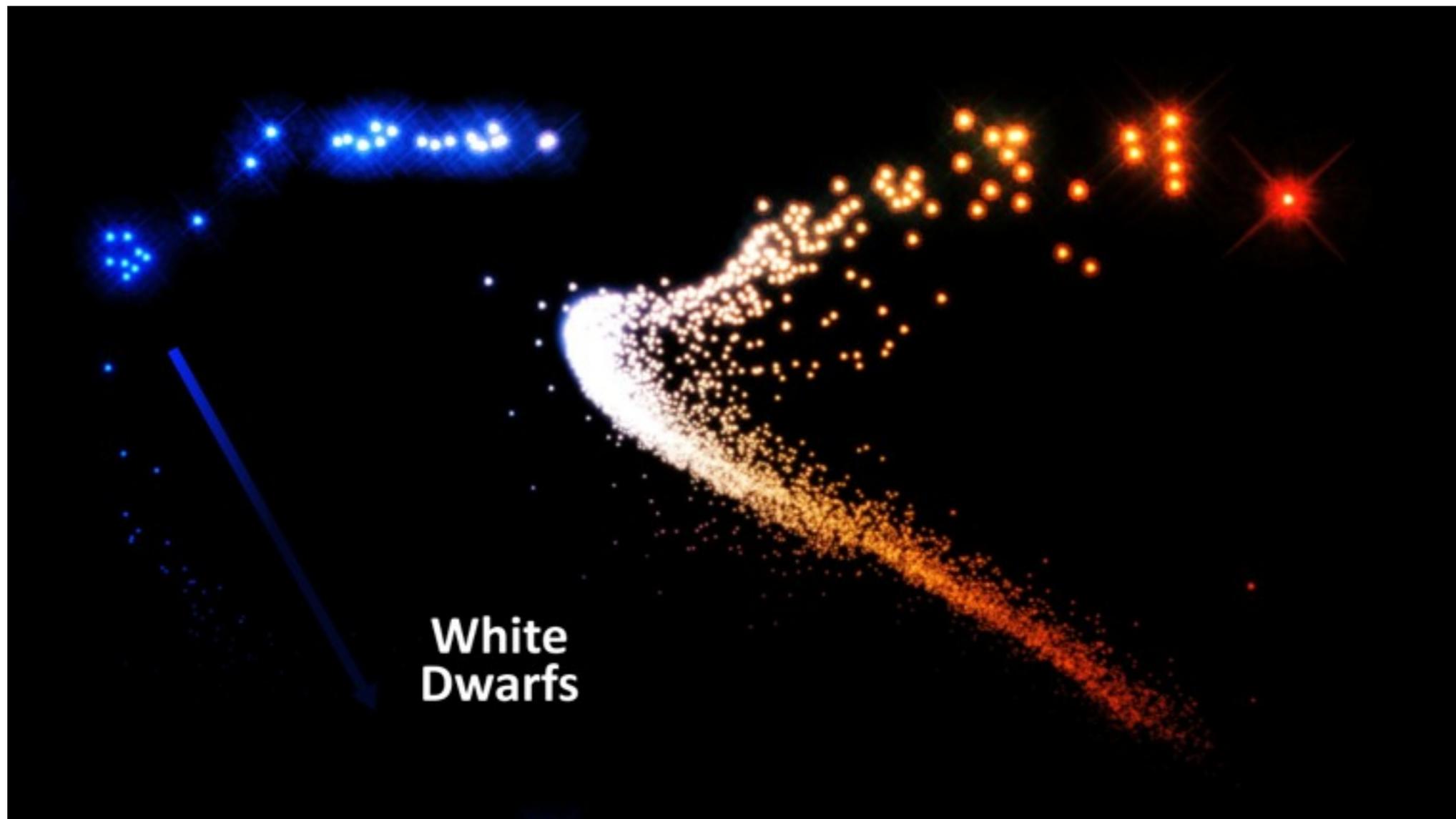
Hubble telescope HR diagram of a globular cluster in Omega Centauri

- <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2010/28/video/d/>
- Queste stelle sono nate tutte insieme
- ma la loro evoluzione e' diversa a seconda della massa
- le protostelle si mettono lungo la sequenza principale, nella Zero Age Main Sequence (ZAMS)
- quelle con massa maggiore finiscono prima la scorta di H e si allontanano dalla MS prima delle altre dalla MS



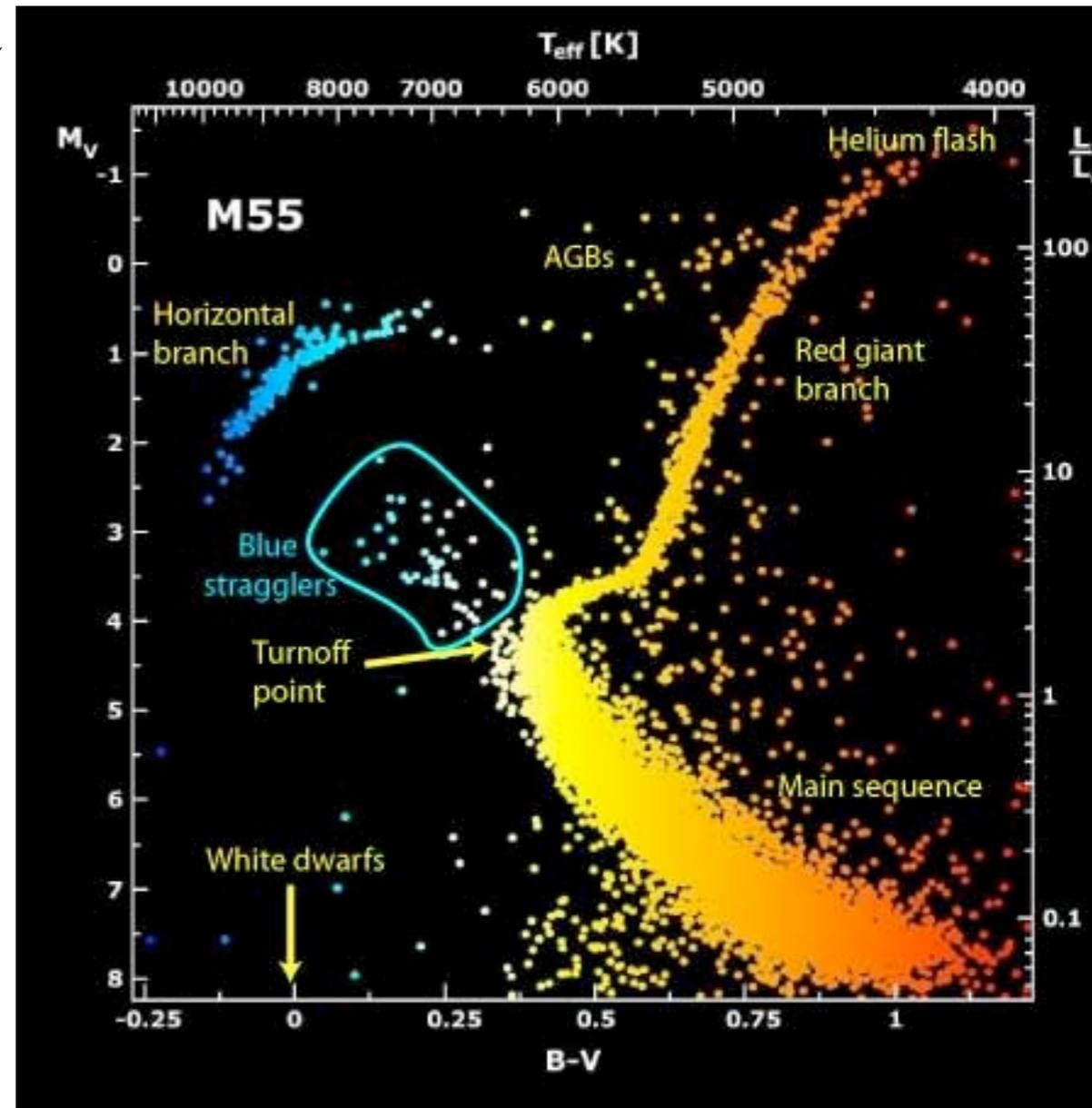
Hubble telescope HR diagram of a globular cluster in Omega Centauri

- <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2010/28/video/d/>
- l'immagine presa ad un certo tempo mostra una foto di famiglia, con i diversi stati di evoluzione a seconda della massa iniziale
- La MS nella zona di alte luminosità (=alta massa) è depopolata, le stelle partite da lì sono già migrate altrove

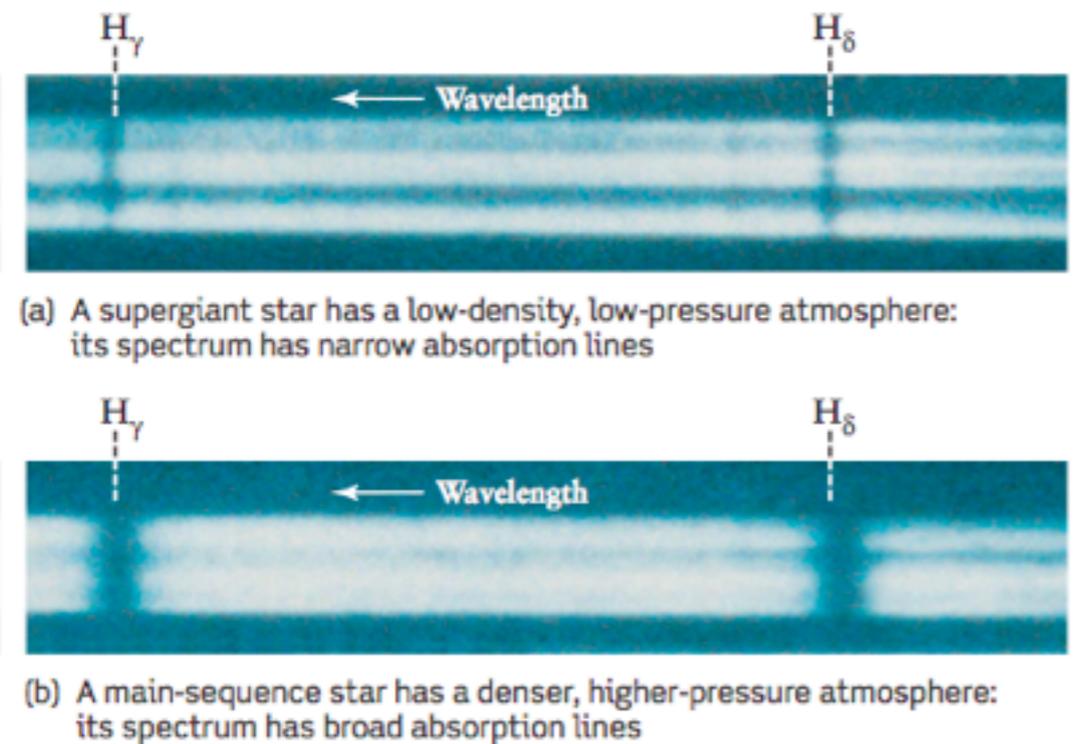


5. Una contraddizione solo apparente: blue stragglers ?

- stelle blue che sono “in ritardo”: popolano una zona della MS da cui le stelle con masse simili, formate all’inizio del cluster, si sono allontanate da tempo
- il centro dell’ammasso e’ popolato densamente da stelle rosse giganti, anziane
- gas possono essere sifonati da una stella all’altra
- il nuovo gas ringiovanisce la stella che lo ha catturato e forma una nuova protostella in cui riparte la fusione di H: di qui le blue-straggler



6. Le classi di luminosita'



- Dallo spettro e dal colore si risale alla classe di luminosita' della stella
- per stelle della Sequenza Principale, dato il colore, si risale alla luminosita' vera, M
- se conosciamo la luminosita' apparente della stella, m, otteniamo il modulo di distanza
 - $M-m = -5 \log(D/(10 \text{ pc}))$
- ovvero D: *Parallasse Spettroscopica*
- vale fino a circa 10 kpc (cioe' all'interno della Galassia)

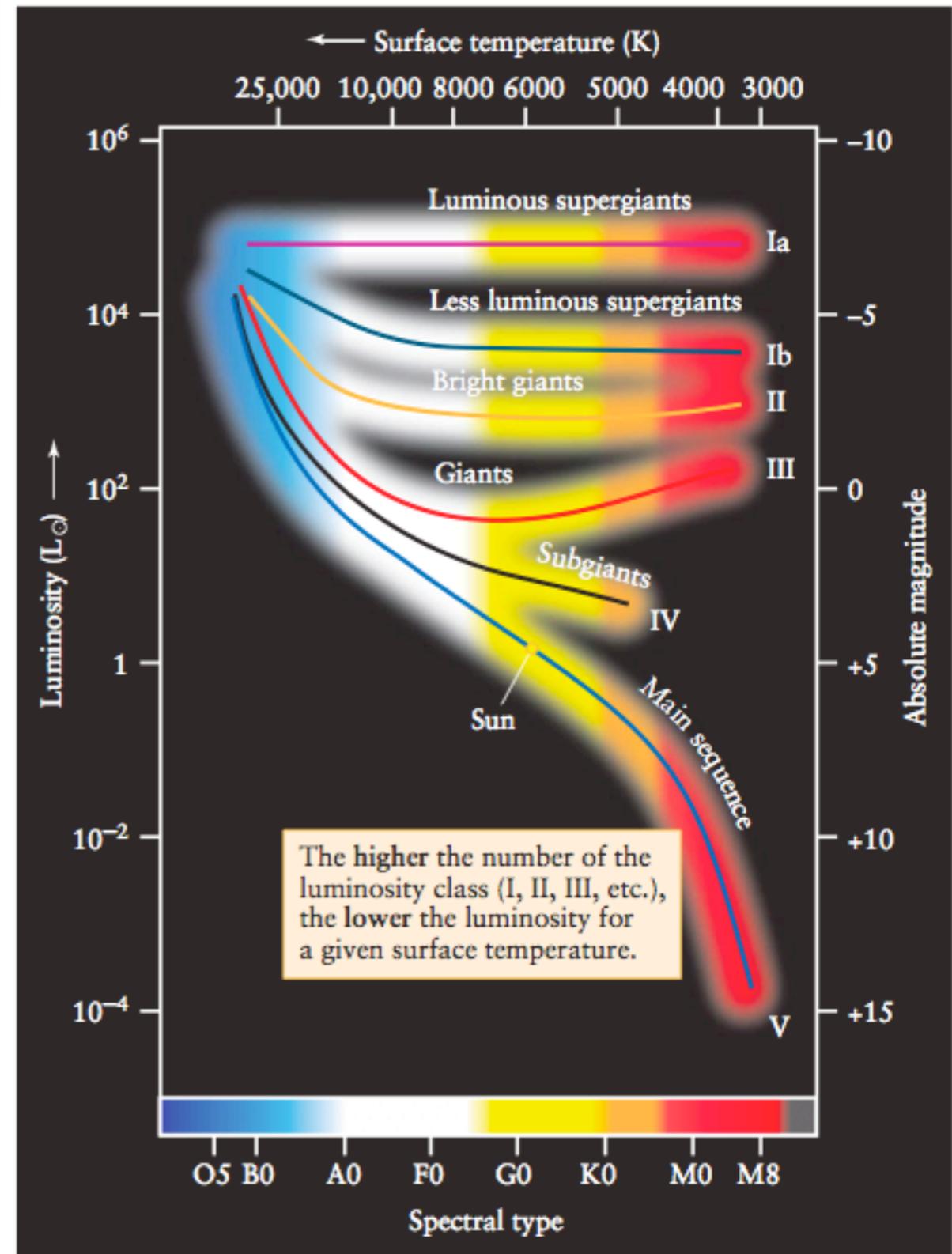
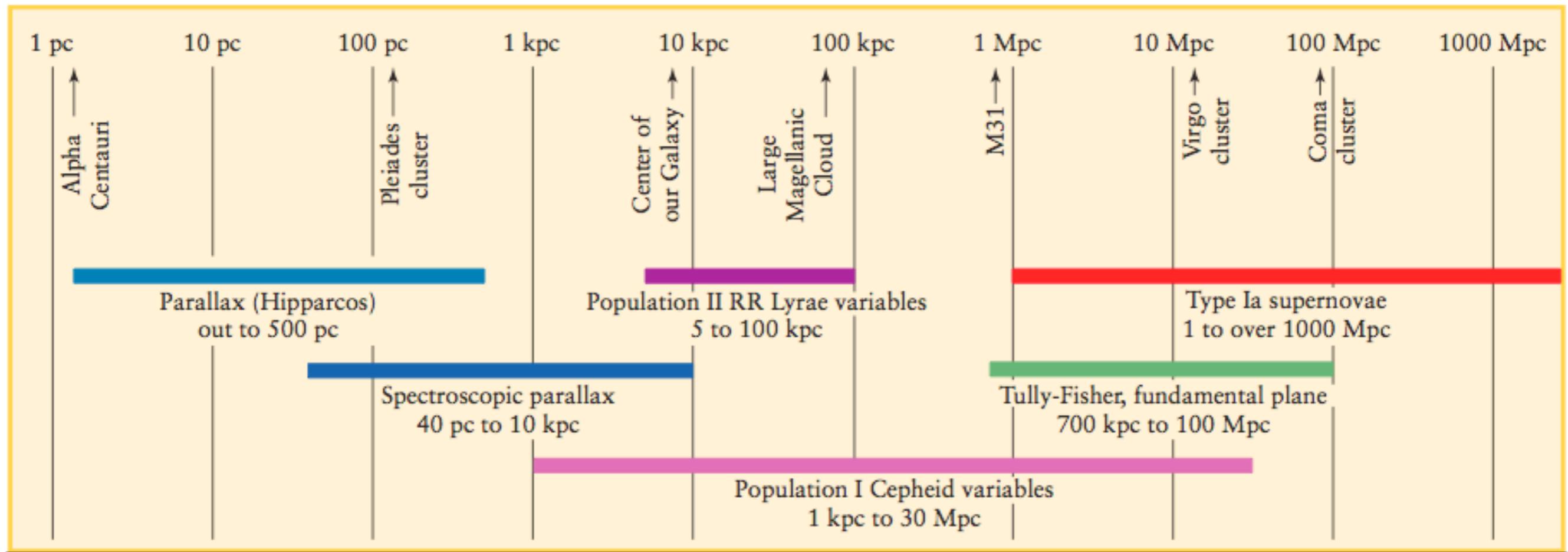


Figure 17-17

Luminosity Classes The H-R diagram is divided into regions corresponding to stars of different luminosity classes. (White dwarfs do not have their own luminosity class.) A star's spectrum reveals both its spectral type and its luminosity class; from these, the star's luminosity can be determined.

La scala delle distanze

- ne parleremo dopo le vacanze....



Conclusione

- Il diagramma H-R è; uno strumento di indagine formidabile
- da' una impressionante foto di famiglia: la foto dell'evoluzione delle stelle in funzione della loro massa
- e costituisce un modo per ricostruire la distanza di una stella dal colore e lo spettro (parallasse spettroscopica)
- ma come in tutte le foto, ci sono anche *personaggi che non si vedono*. Tra questi
- oggetti piu' compatti delle nane bianche in cui possono finire le stelle con un core di massa superiore al limite di Chandrasekar:
 - stelle di neutroni, identificate inizialmente come sorgenti di radiosegnali periodici (pulsar)
 - buchi neri, se la massa supera il limite di Oppenheimer-Volkov
- dal lato opposto ci sono le “nane marroni” (Jupiters): oggetti che non sono riusciti a diventare delle stelle e che riveliamo come satelliti di stelle (esosatelliti)
-