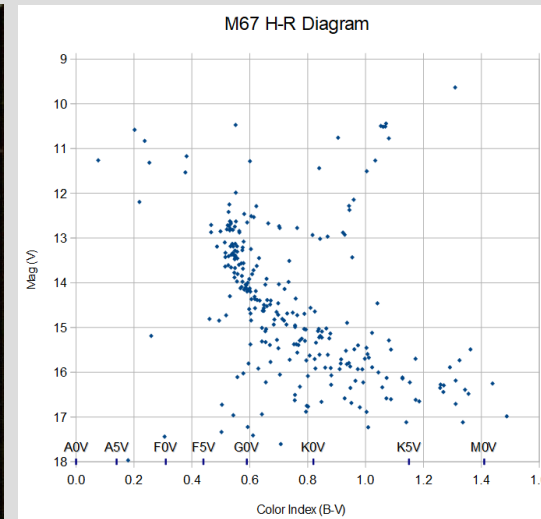


Diagramma H-R ammasso aperto M67



27° Convegno Nazionale del GAD
5-6 ottobre 2019, Todi (PG)



Lorenzo Franco (lor_franco@libero.it)

(A81) Balzaretto Observatory, Rome

http://digilander.libero.it/A81_Observatory

<https://www.facebook.com/a81balzarettoobservatory>

Premessa

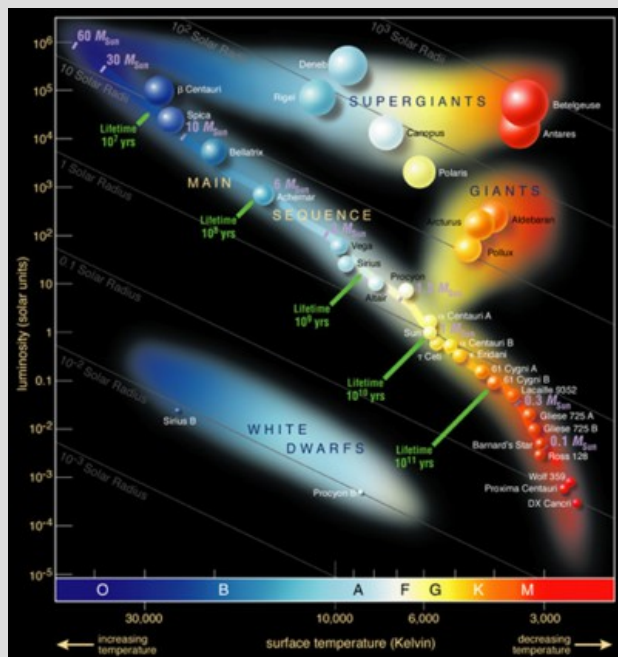
In questa presentazione vedremo come ottenere il diagramma H-R di un ammasso stellare, partendo da una serie di immagini CCD acquisite con i filtri fotometrici.

L'esempio riguarda in particolare l'ammasso M67, utilizzato spesso come campo di calibrazione fotometrica, ma si può estendere a qualsiasi altro ammasso stellare.

Da non trascurare la valenza didattica di questo esercizio che può aiutare le nuove generazioni ad avvicinarsi in modo facile all'astrofisica stellare.

Il diagramma H-R

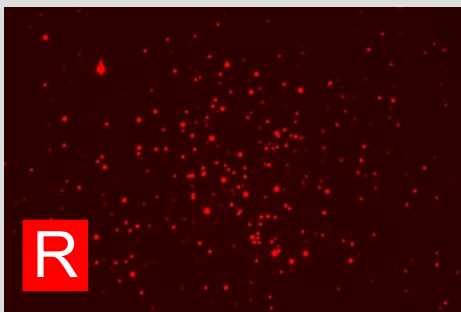
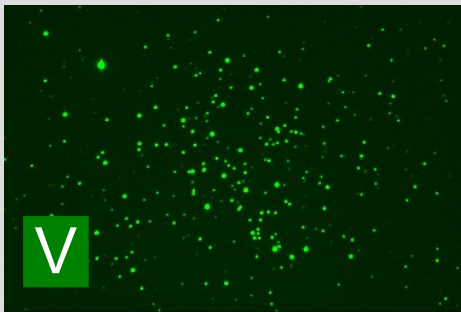
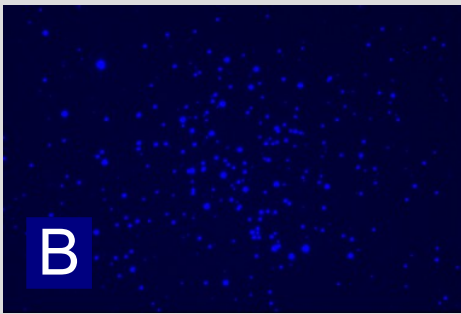
Nel 1911-13 gli astronomi Hertzsprung e Russell (indipendentemente) misero su grafico un campione di stelle utilizzando la loro magnitudine assoluta e la temperatura / classe spettrale. Videro con meraviglia che le stelle non si distribuivano casualmente ma seguivano dei ben precisi raggruppamenti, ottenendo così uno dei principali strumenti dell'astrofisica con cui è stato possibile esplorare e comprendere l'evoluzione stellare.



Il diagramma H-R rappresenta la distribuzione delle stelle in base alla loro temperatura e luminosità. La maggior parte delle stelle si distribuisce lungo una fascia trasversale che prende il nome di “sequenza principale”. E' questo il luogo dove le stelle trascorrono la maggior parte della loro vita, bruciando idrogeno in elio nel nucleo centrale. La posizione occupata da una stella in sequenza principale dipende solo dalla sua massa.

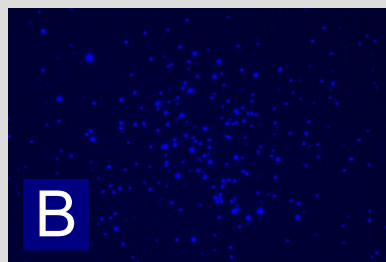
Acquisizione

Con un telescopio da 20cm ed una camera SBIG ST7-XME sono stati acquisiti tre gruppi di 6 frame con i filtri B, V, R e tempi di esposizione rispettivamente di 240, 120 e 120 secondi.



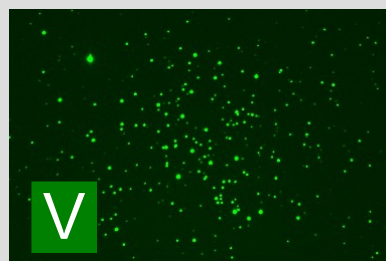
Estrazione dei dati fotometrici

I gruppi (B e V) sono stati mediati, estraendo per ogni stella di campo i dati di magnitudine strumentale b , v con l'utility `SExtractor` disponibile con `MPO Canopus`, ma si può usare anche la funzione `[Find stars]` di `AstroArt` o analoghe funzioni in altri pacchetti software.



SExtractor

280 stelle tra
l' 8a e la 18a
magnitudine V.



SExtractor

X	Y	mag b
162.125	99.762	-15.1809
501.016	404.518	-14.1524
102.178	181.35	-13.3057
337.584	334.349	-13.2364
363.252	165.134	-13.095
...		

X	Y	mag v
161.286	99.686	-16.03
336.607	335.311	-14.3852
499.953	405.501	-14.0121
400.51	307.716	-13.58
364.248	283.949	-13.5503
...		

Le posizioni in pixel non sono proprio le stesse e pertanto occorre riconciliare le coordinate X , Y dei due set di dati (B e V) per ritrovare (entro pochi pixel) le stesse stelle.

Estrazione dati fotometrici

Per riconciliare i due set di dati (B) e (V) è stato utilizzato un apposito script scilab che per ogni stella del primo insieme, cerca la corrispondente stella nel secondo insieme, ottenendo così un output omogeneo con i valori combinati B e V di ogni stella.

X	Y	mag b
162.125	99.762	-15.1809
501.016	404.518	-14.1524
102.178	181.35	-13.3057
337.584	334.349	-13.2364
363.252	165.134	-13.095
...		

X	Y	mag v
161.286	99.686	-16.03
336.607	335.311	-14.3852
499.953	405.501	-14.0121
400.51	307.716	-13.58
364.248	283.949	-13.5503
...		

X	Y	mag b	X	Y	mag v
162.125	99.762	-15.1809	161.286	99.686	-16.03
501.016	404.518	-14.1524	499.953	405.501	-14.0121
102.178	181.35	-13.3057	101.447	182.417	-13.442
337.584	334.349	-13.2364	336.607	335.311	-14.3852
365.186	282.926	-13.095	364.248	283.949	-13.5503
312.467	275.95	-13.0262	311.311	277.002	-13.1943
...					

```
function n=cerca(xx, yy)
    n = 0
    max_dist = 5
    for i = 1:numV
        delta_x = abs(xx - dVmag(i,1))
        if delta_x < max_dist then
            delta_y = abs(yy - dVmag(i,2))
            if delta_y < max_dist then
                n = i // indice dove ha trovato corrispondenza
                break
            end
        end
    end
endfunction

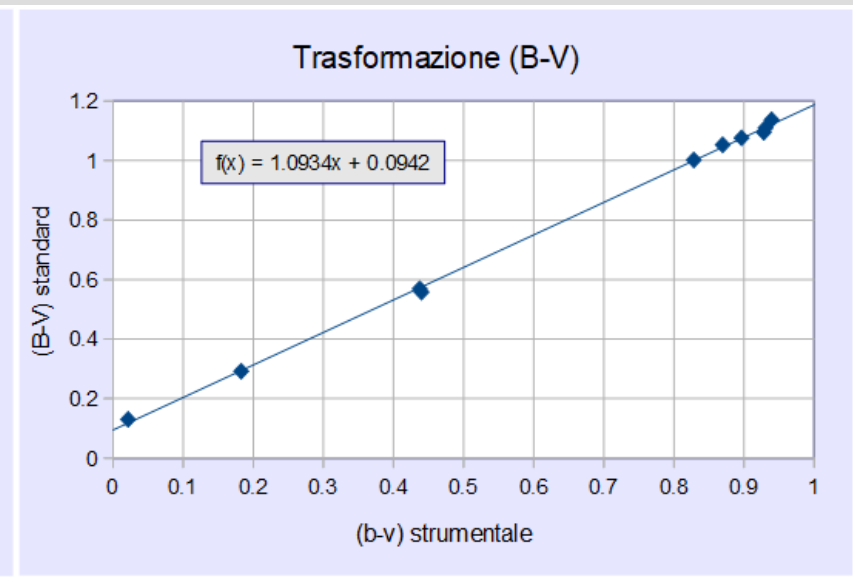
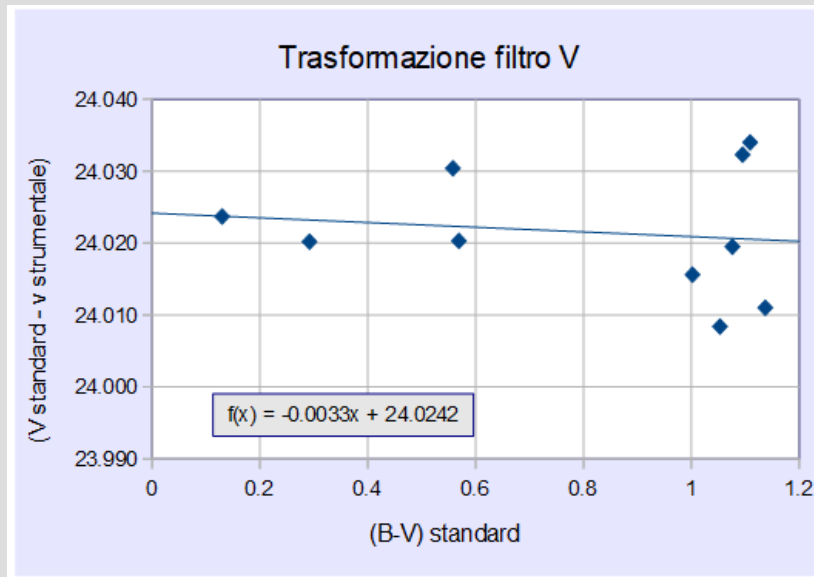
dBmag = read("c:\images\m67_B.dat",-1,3)
sdp = size(dBmag)
numB = sdp(1,1) // numero di righe mag B

dVmag = read("C:\images\m67_V.dat",-1,3)
sdp = size(dVmag)
numV = sdp(1,1) // numero di righe mag V

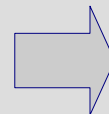
output=[] // V(x,y,magV), R(x,y,magR)
p=1 // progressivo
for n = 1: numB
    xB = dBmag(n,1)
    yB = dBmag(n,2)
    mB = dBmag(n,3)
    iV = cerca(xB,yB)
    if iV > 0 then
        output(p,1)=xB
        output(p,2)=yB
        output(p,3)=mB
        output(p,4)=dVmag(iV,1)
        output(p,5)=dVmag(iV,2)
        output(p,6)=dVmag(iV,3)
        p=p+1
    end
end
ena
```

Calibrazione fotometrica

I dati estratti dai frame (B) e (V) sono espressi in magnitudini strumentali. Pertanto, prima di poterli utilizzare, occorrerà convertirli in **magnitudini standard** e per farlo dobbiamo trovare i coefficienti di trasformazione **T_v** , **T_{bv}** ed i corrispondenti offset (zero point) **Z_v** e **Z_{bv}** , utilizzando un sotto-insieme di stelle di cui si conosce la magnitudine standard e l'indice di colore.



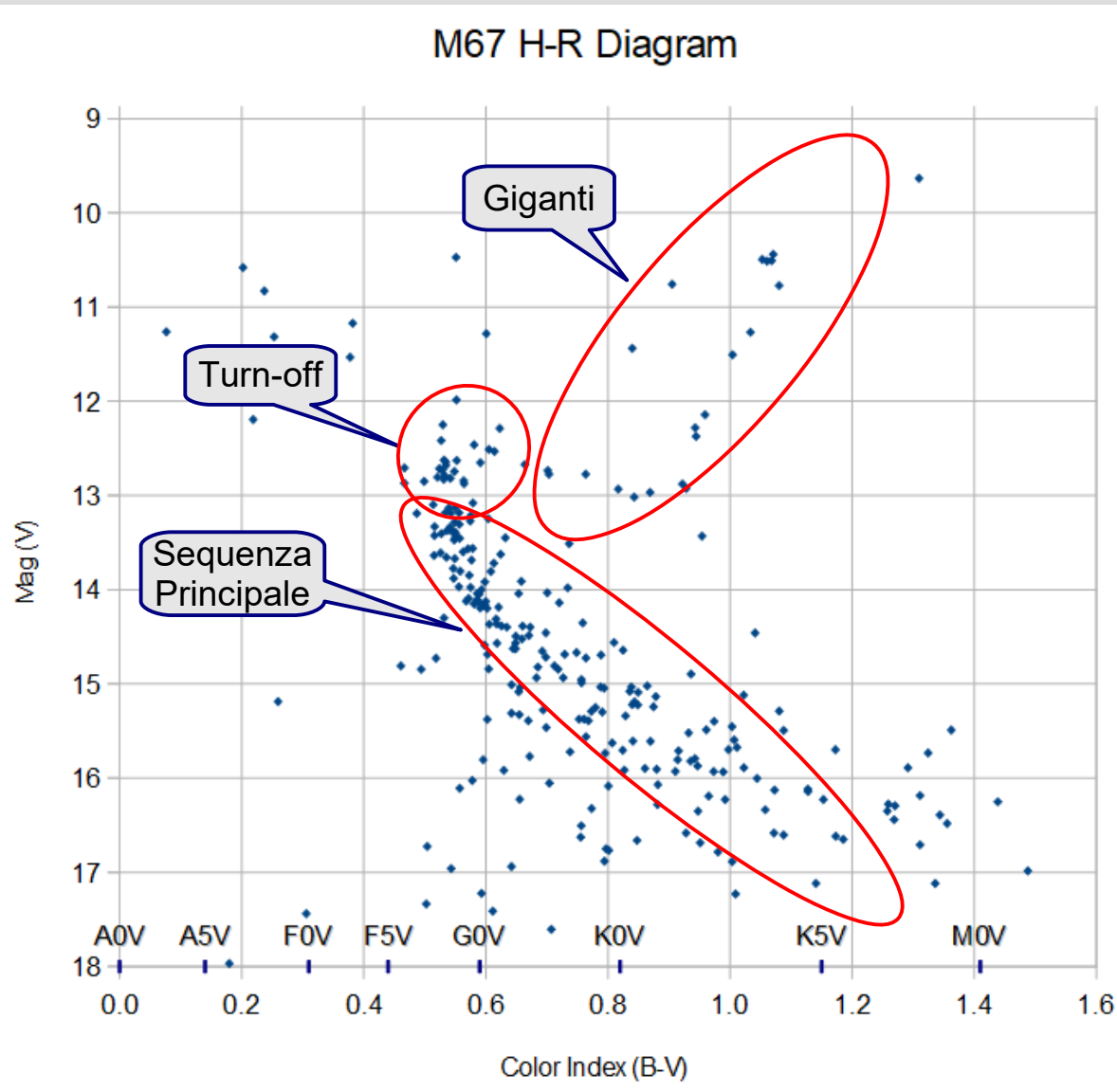
$$\begin{aligned}(V - v_0) &= T_v (B - V) + Z_v \\ (B - V) &= T_{bv} (b_0 - v_0) - Z_{bv}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}T_v &= -0.0033, & Z_v &= 24.0242 \\ T_{bv} &= 1.0934, & Z_{bv} &= 0.0942\end{aligned}$$

Occorre infine tener conto dell'arrossamento interstellare, valutato da Taylor (2007) per M67 con un eccesso di colore $E(B-V) = 0.041 \pm 0.004$.

Diagramma H-R (colore-magnitudine)



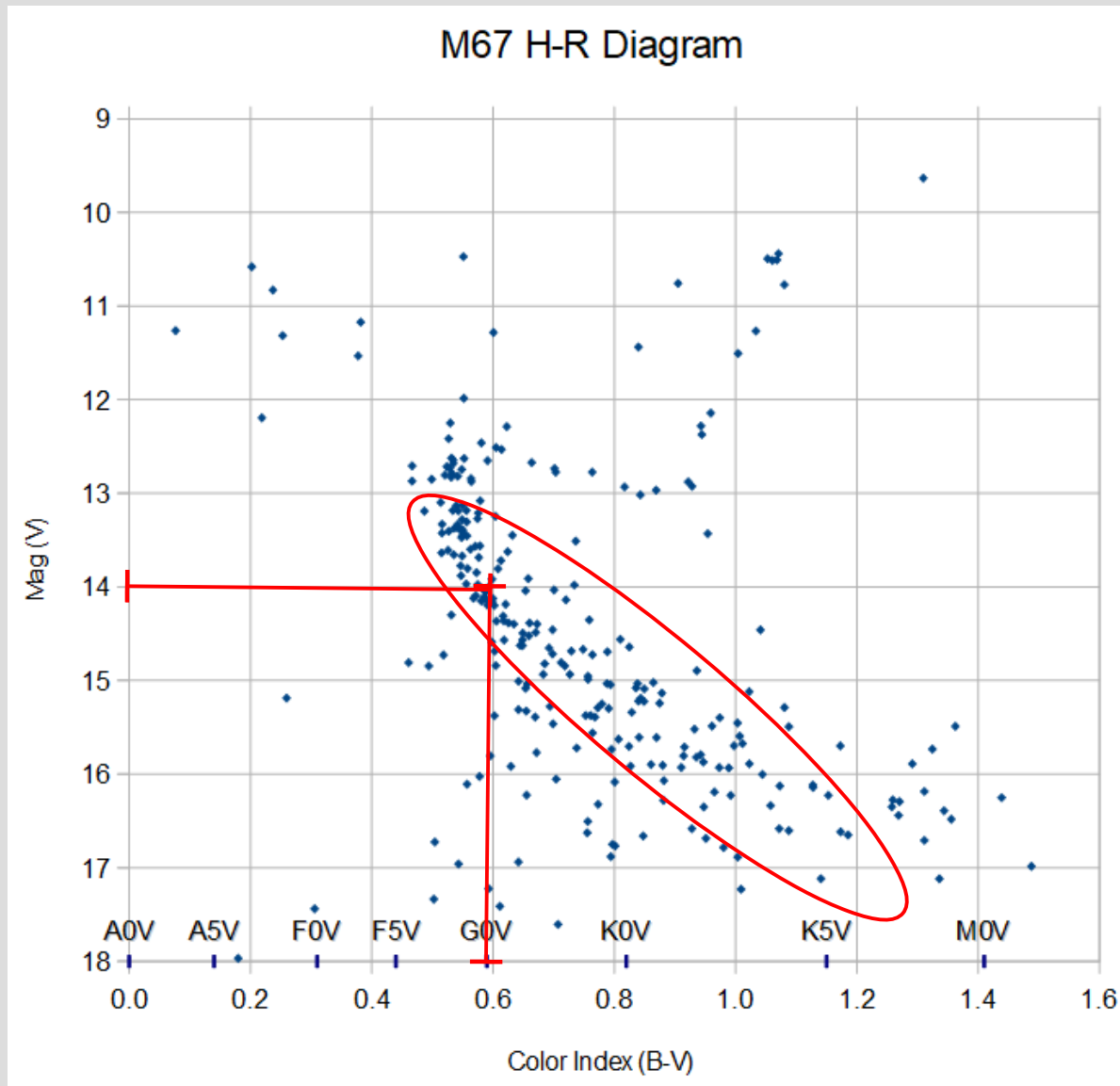
Mettendo su grafico gli indici di colore rispetto alla magnitudine otteniamo il diagramma H-R (colore-magnitudine).

Le stelle di un ammasso si sono formate tutte dalla stessa nube interstellare, pertanto possiamo assumere che condividano anche la stessa distanza ed età.

Sul grafico si possono evidenziare tre gruppi stellari:

- sequenza principale (MS)
- ramo delle giganti
- punto di turn-off.

Diagramma H-R (valutiamo la distanza)



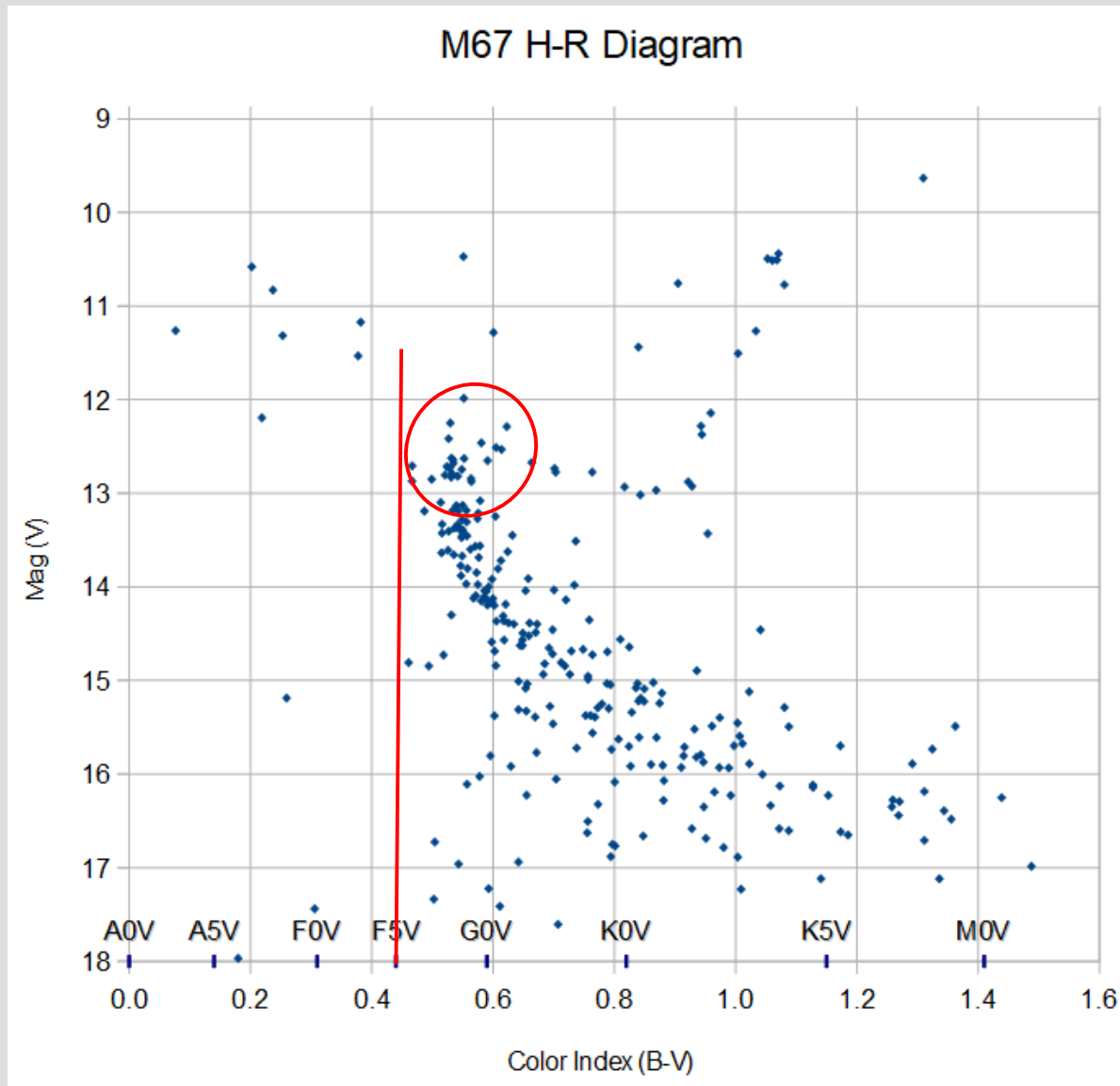
Il fit della sequenza principale ci permette di valutare il modulo di distanza $m-M$ tramite la classe spettrale.

*Ad esempio le stelle di tipo **G0V** hanno una magnitudine assoluta $M_v=4.4$ e nel nostro grafico una magnitudine apparente di ~ 14 , da cui il modulo di distanza:
 $m-M = 14.0 - 4.4 = 9.6$.*

Possiamo valutare la distanza con: $\log(d) = (m-M)/5 + 1$

*Nel nostro caso abbiamo:
 $d = 10^{((m-M)/5+1)} = 832 \text{ pc}$
(2712 anni luce).*

Diagramma H-R (valutiamo l'età)



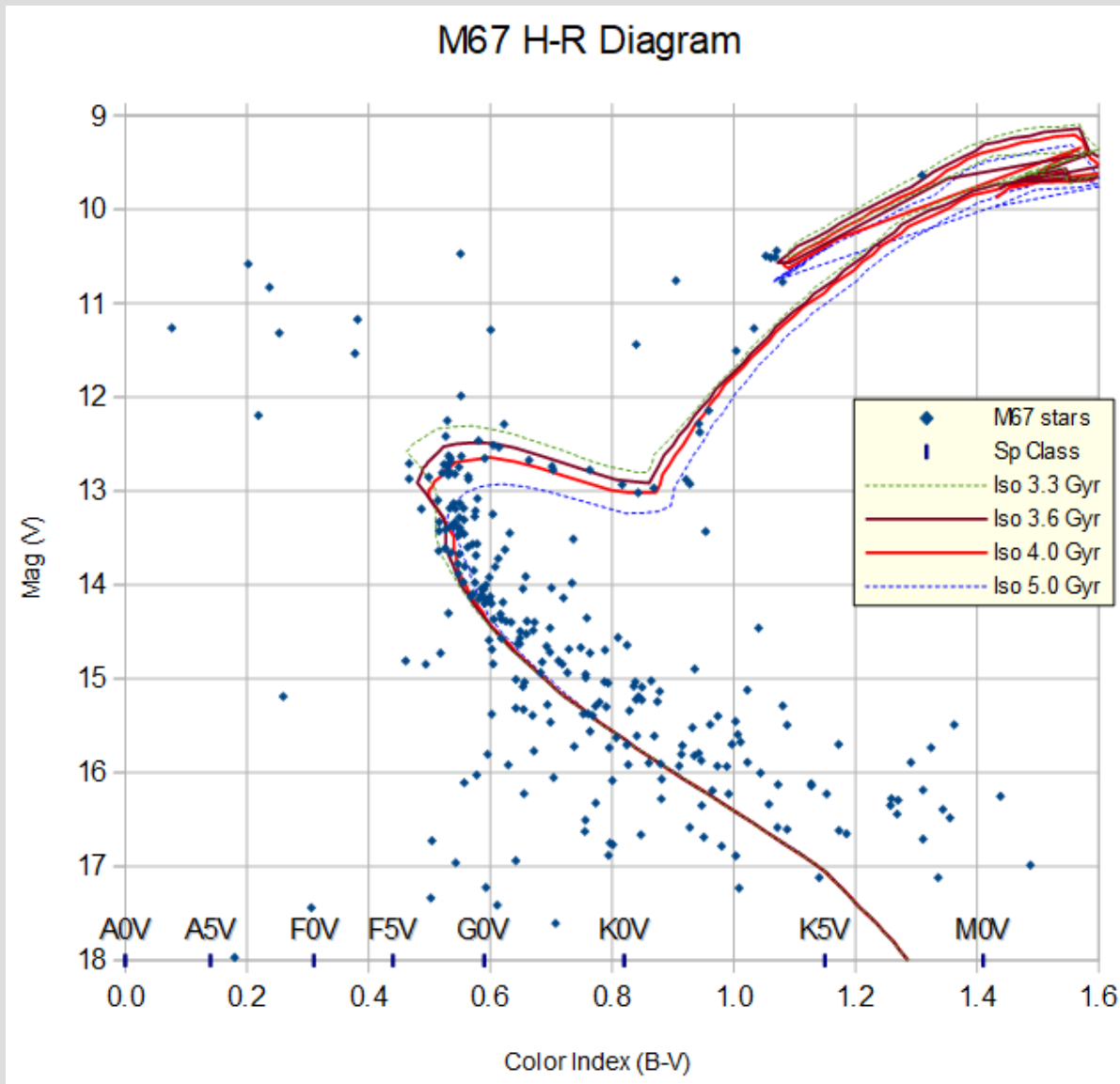
Dal diagramma H-R notiamo la mancanza di stelle di MS a sinistra della classe spettrale F5V (massa 1.4 Ms), poiché si sono tutte evolute in giganti rosse.

Le stelle nel punto di svolta (turn-off) stanno seguendo questo processo evolutivo e questa circostanza ci permette di stimare l'età dell'ammasso.

Il tempo di permanenza in MS di una stella è determinato solo dalla sua massa con la relazione: $T_{ms} = 10/M^3$ (miliardi di anni).

$T_{ms} = 10/1.4^3 = 3.6$ (miliardi di anni).

Diagramma H-R (usiamo le isocrone)

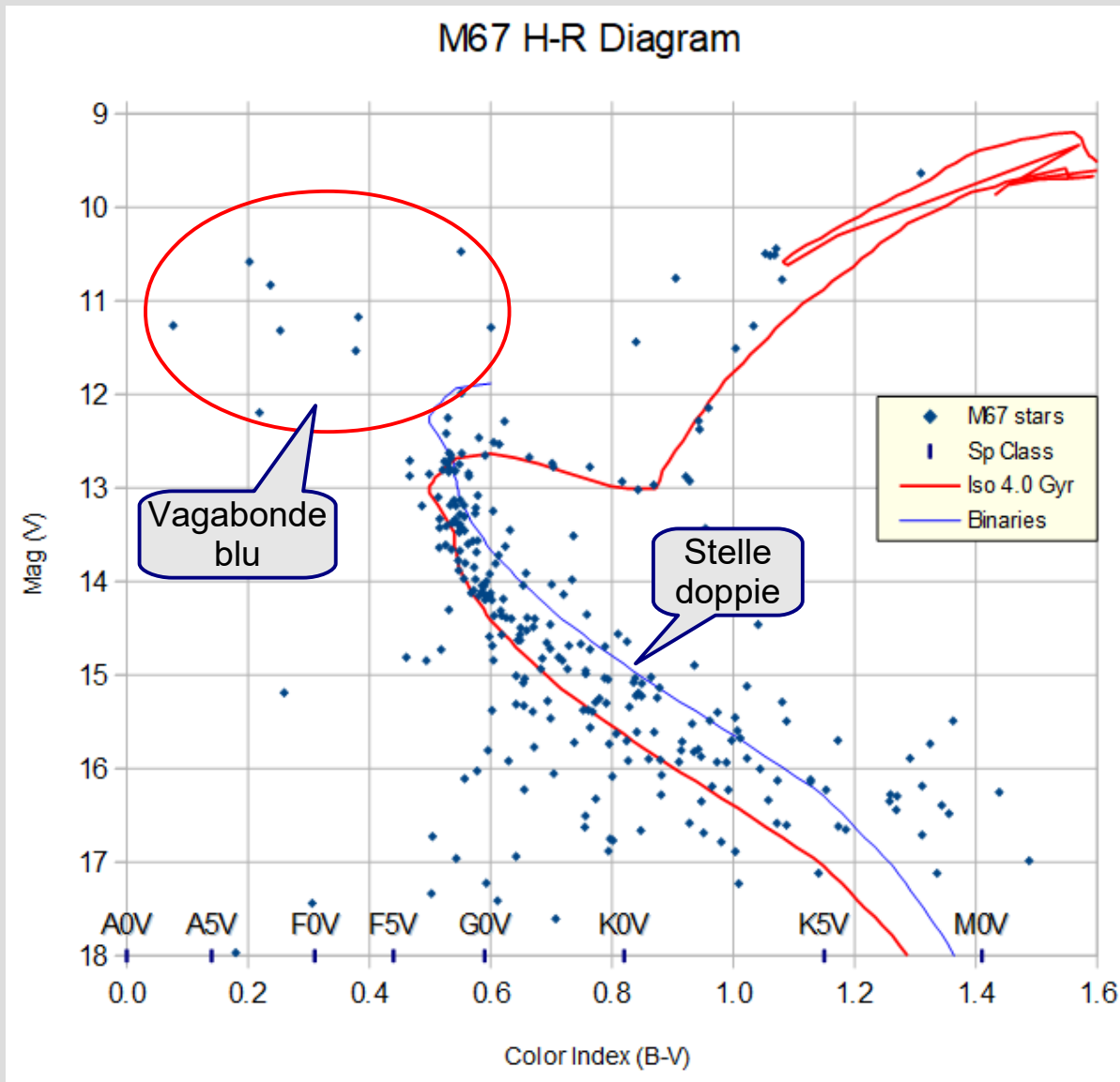


Utilizzando le isocrone (1) del modello evolutivo stellare *Geneva* (disponibile su *VizieR*) possiamo migliorare il fit con i nostri dati.

Sono state utilizzate isocrone di diversa età evolutiva con metallicità simile al nostro Sole ($Z=0.02$).

Le isocrone che meglio approssimano la distribuzione stellare di M67 sono quelle con età compresa tra 3.6 e 4.0 miliardi di anni ed un modulo di distanza $m-M = 9.65$ (850 parsec).

Diagramma H-R (alcune stelle peculiari)



Le **stelle doppie** presenti nell'ammasso avranno una luminosità doppia rispetto alle singole, con un incremento di $\Delta m = -2.5 \log(2) = -0.75 \text{ mag}$

Le **vagabonde blu** (Blue stragglers) sono stelle di sequenza principale che sembrano non seguire il percorso evolutivo delle altre stelle e sono più luminose e blu.

Queste stelle sono probabilmente il risultato della fusione di due stelle o dell'evoluzione di sistemi doppi, causata dal trasferimento di materia tra le due stelle.

Domande

