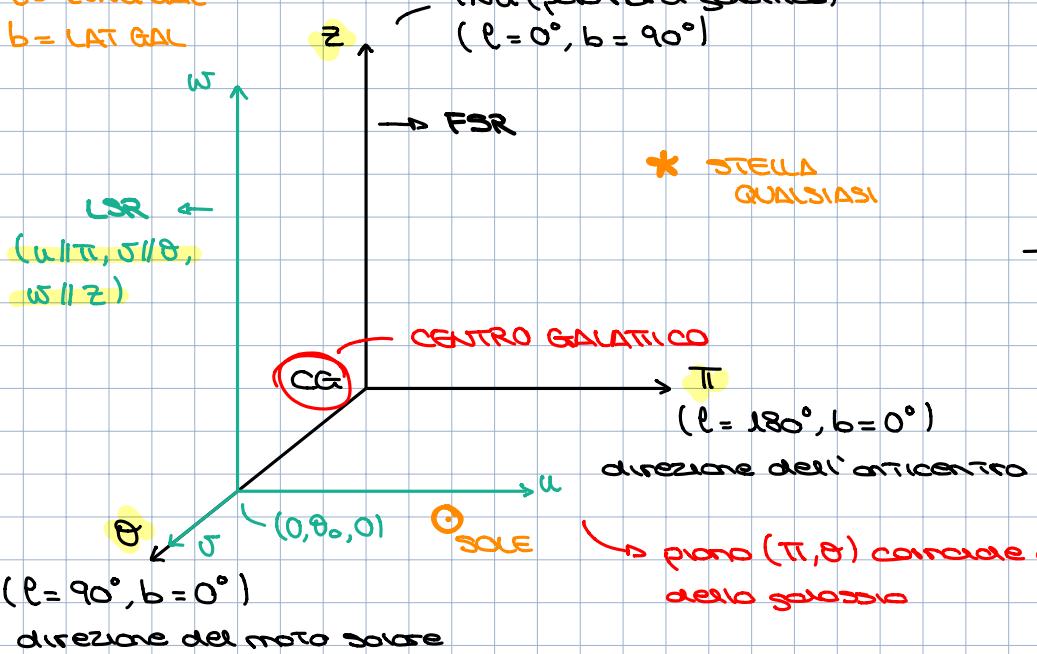


STRUTTURA E DINAMICA DELLA VIA LATTA

Si possono definire diversi sistemi di riferimento, in particolare il **Fundamental Standard of Rest (FSR)** e il **Local Standard of Rest (LSR)**. Entrambi questi SDR sono nello spazio delle velocità quando le loro coordinate sono componenti delle velocità.

$\ell = \text{LONG GAL}$

$b = \text{LAT GAL}$



Il **LSR** è una traslazione con origine in $(0, 0, 0)$ con θ_0 orbitale [origine è un punto in moto con $(0, \theta_0, 0)$]

→ due componenti sono sul piano del cielo (moti propri in AR e DEC) mentre una è lungo la los (velocità radiale) [velocità sdrucciole dal sole nelle osservazioni]

Velocità peculiari di uno stellla rispetto di FSR

$$\begin{cases} \pi \\ \delta \\ z \end{cases}$$

Velocità peculiari di uno stellla rispetto LSR

$$\begin{cases} u = \pi - \pi_{LSR} = \pi \\ \delta = \delta - \delta_{LSR} = \delta - \delta_0 \\ w = z - z_{LSR} = z \end{cases}$$

Velocità peculiari del Sole rispetto al FSR

$$\begin{cases} \pi_0 \\ \delta_0 \\ z_0 \end{cases}$$

Velocità peculiari del Sole rispetto LSR

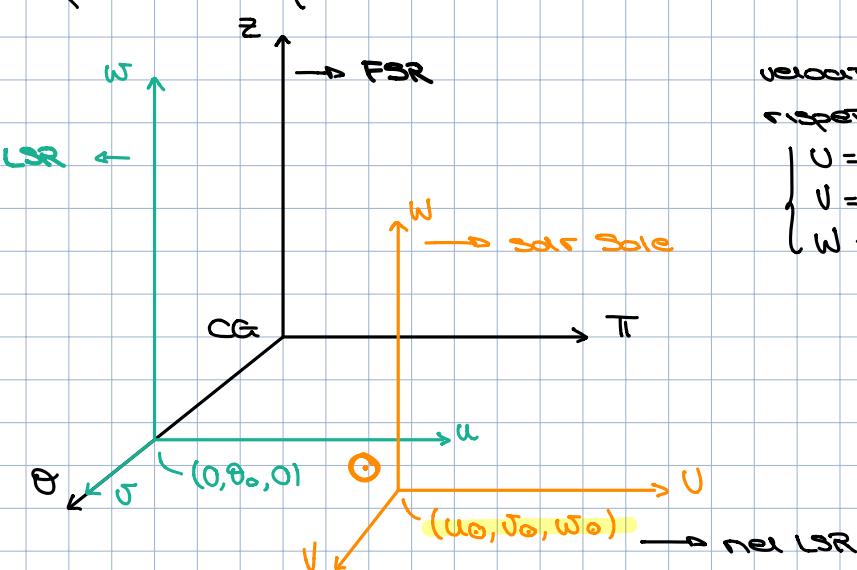
$$\begin{cases} u_0 = \pi_0 - \pi_{LSR} = \pi_0 \\ \delta_0 = \delta_0 - \delta_{LSR} = \delta_0 - \delta_0 \\ w_0 = z_0 - z_{LSR} = z_0 \end{cases}$$

Velocità peculiari del LSR rispetto di FSR

$$\begin{cases} \pi_{LSR} = 0 \\ \delta_{LSR} = \delta_0 \\ z_{LSR} = 0 \end{cases}$$

ORIGINE LSR = punto che si muove di moto circolare uniforme

Possiamo dunque avere un SDR locale centrato nel Sole



Velocità peculiari di uno stellla rispetto al Sole

$$\begin{cases} U = u - u_0 = \pi - \pi_0 \\ V = \delta - \delta_0 = \delta - \delta_0 \\ W = w - w_0 = z - z_0 \end{cases}$$

Si possono calcolare quindi le velocità peculiari medie di un gruppo di stelle

rispetto al FSR

$$\begin{cases} \langle u \rangle \\ \langle v \rangle \\ \langle w \rangle \end{cases}$$

rispetto al LSR

$$\begin{cases} u \\ v \\ w \end{cases}$$

rispetto al Sole

$$\begin{cases} \langle u \rangle \\ \langle v \rangle \\ \langle w \rangle \end{cases}$$

MOTO SOLARE

$$\begin{cases} \langle u \rangle = \langle v \rangle = 0 \\ \langle v \rangle = \langle \theta \rangle = -\delta_0 \\ \langle w \rangle = \langle z \rangle = 0 \end{cases}$$

velocità peculiari medie rispetto LSR

→ mediamente non si spostano rispetto al piano galattico (non vale per singole stelle)

$$\begin{cases} \langle u \rangle = \langle u \rangle - u_0 = -u_0 \\ \langle v \rangle = \langle v \rangle - \delta_0 \\ \langle w \rangle = \langle w \rangle - w_0 = -w_0 \end{cases}$$

velocità peculiari medie rispetto di Sole

$$\begin{cases} u_0 = -\langle u \rangle \\ \delta_0 = \langle v \rangle - \langle v \rangle = \langle v \rangle + \delta_0' \\ w_0 = -\langle w \rangle \end{cases}$$

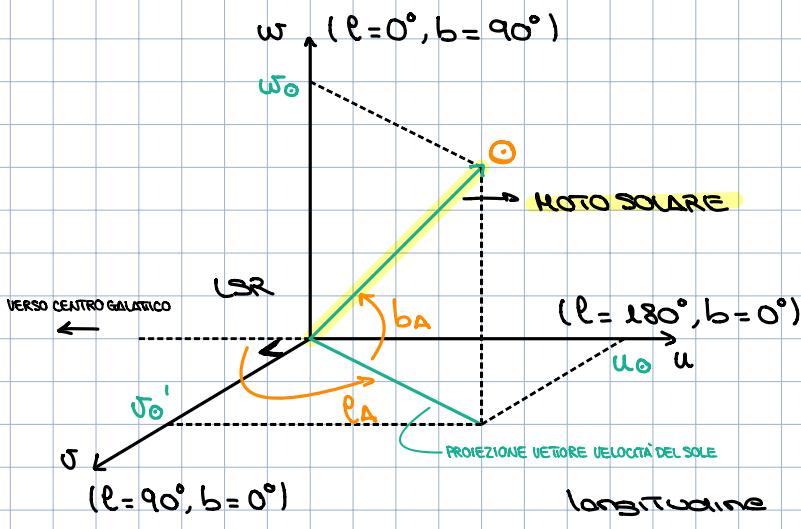
velocità peculiari del Sole rispetto al LSR

→ combinazione di osservazioni e considerazioni teoriche

$$\begin{cases} u_0 = -\langle u \rangle \\ \delta_0' = -\langle v \rangle \\ w_0 = -\langle w \rangle \end{cases}$$

→ COMPONENTI DEL MOTO SOLARE

→ ripasso del moto del gruppo di stelle considerato rispetto al Sole



modulo del moto solare

$$s_0 = \sqrt{u_0^2 + \delta_0'^2 + w_0^2}$$

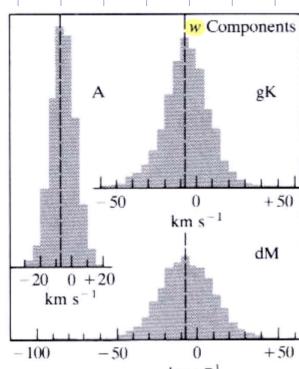
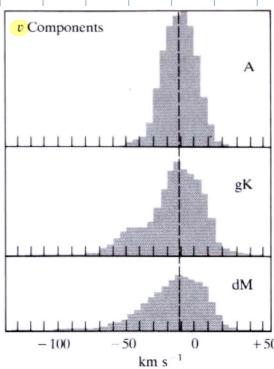
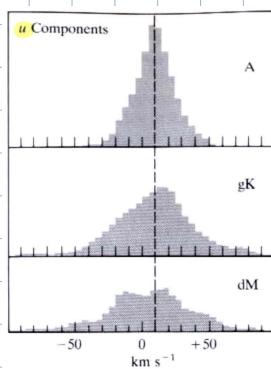
direzione del moto solare

$$\delta_0' \operatorname{Tg}(\alpha_A - 90^\circ) = u_0$$

$$\sqrt{u_0^2 + (\delta_0')^2} \operatorname{Tg} \beta_A = w_0$$

coordinate dell'opice solare (punto verso cui è diretto il Sole nel suo moto sullo spazio celeste)

$$\begin{aligned} \text{longitudine} &\rightarrow \alpha_A = \arctg(u_0 / \delta_0') + 90^\circ \\ \text{lattitudine} &\rightarrow \beta_A = \arctg(w_0 / \sqrt{u_0^2 + (\delta_0')^2}) \end{aligned}$$



Da un campione di stelle vicine (100 pc) di tipo A, gK, dM

componenti $u_0 = -9 \text{ km s}^{-1}$

$\delta_0' = -11 \text{ km s}^{-1}$

$w_0 = 6 \text{ km s}^{-1}$

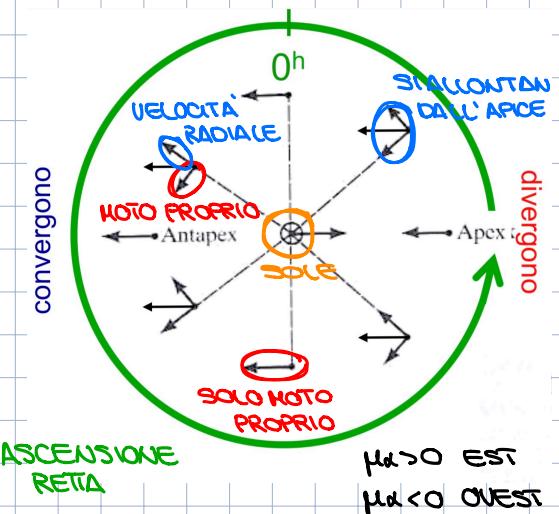
modulo moto $s_0 = 15 \text{ km s}^{-1}$

direzione opice $\alpha_A = 51^\circ$

$\beta_A = 23^\circ$

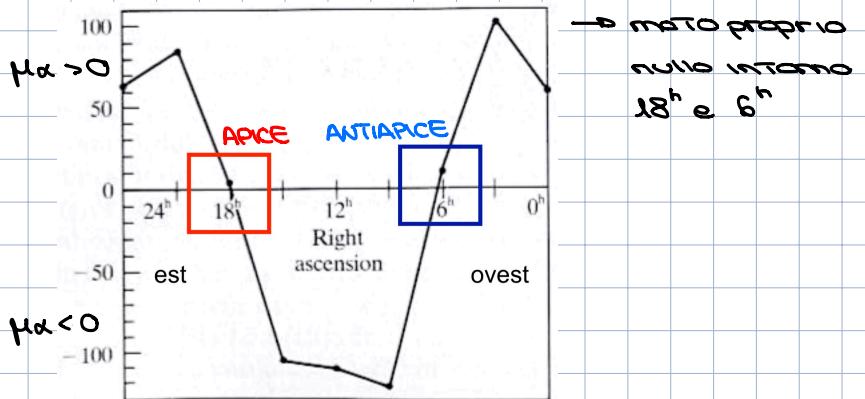
Se vogliamo solo le coordinate dell'apice solare e non le componenti delle velocità possiamo esprimere in termini di moto proprio

MOTO PROPRIO IN ASCENSIONE RETTA μ_α

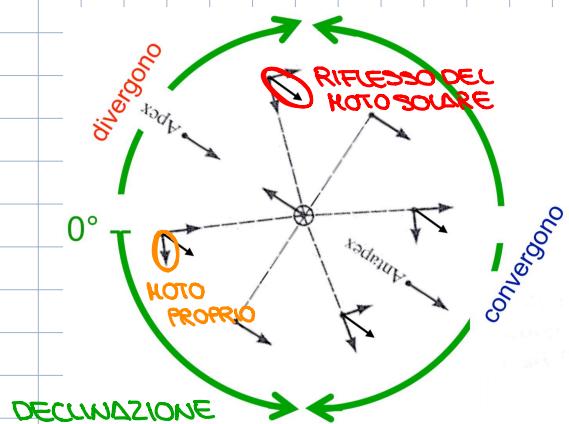


considero un certo numero di stelle, ci opponevano in moto verso di noi con velocità uguale e contrario rispetto a quella del Sole

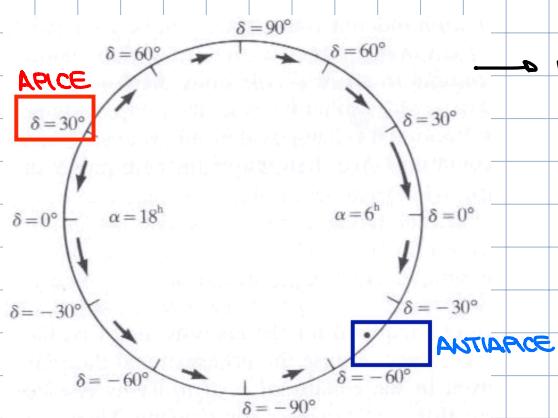
Ci permettono di identificare apice e antiaapice
APICE = dove le stelle divergono
ANTIAPICE = dove le stelle convergono



MOTO PROPRIO IN DECLINAZIONE μ_δ → scelso meridiano passante per apice e antiaapice ($\delta = 6^\circ$ e $\delta = 18^\circ$)



Nelle vicinanze dell'apice quando la declinazione cresce il moto proprio μ_δ è positivo mentre quando δ decresce il moto proprio μ_δ è negativo



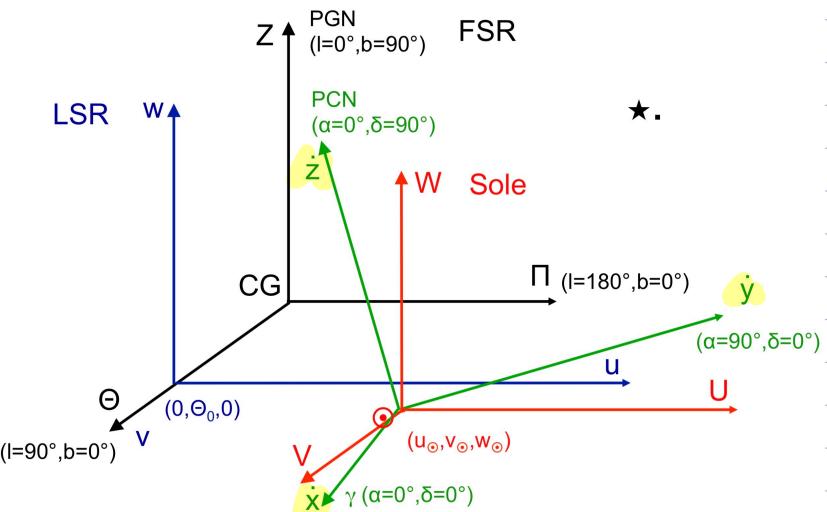
→ l'apice solare si trova a $\alpha = 18^\circ$ e $\delta = 30^\circ$
nella costellazione dell'Ercule mentre l'antiapece si trova a $\alpha = 6^\circ$ e $\delta \approx -45^\circ$ vicino alla stella η Canis Minoris

Possiamo quindi elencare
centrato sul Sole nel quale
esistono le stelle

- in coordinate : AR e DEC
 - in velocità : moto proprio

ascensione retta e declinazione
(determinate con la variazione
delle coordinate nel tempo)

e velocità radiale
(determinato attraverso gli
spettri.)

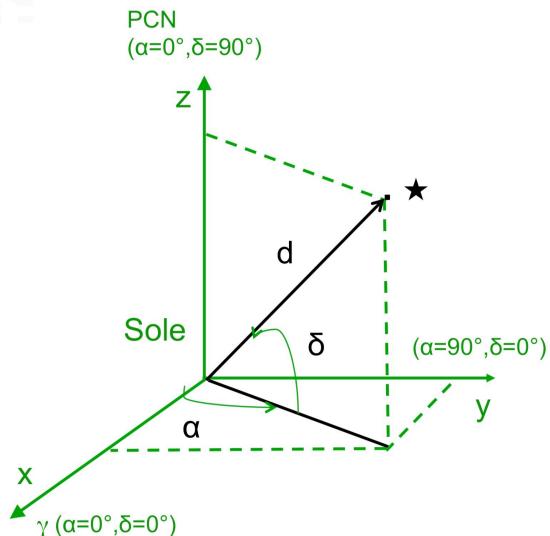


Questo sarà dove essere

correlato ad ascensione retta e declinazione

→ le coordinate sono \dot{x} (nella direzione del punto \dot{x}), \dot{y} (sul piano equatoriale con $\alpha = 90^\circ$), \dot{z} (verso il Polo Nord celeste)

Nello spazio ordinario (x,y,z) centrato sul Sole con x che punta verso il punto S,



y verso $\alpha = 90^\circ$ e z verso il PCN

d(pcl) = distanza

d (km s^{-1}) = velocità radiale (doppler)

μ_d (sec/yr) = moto proprio in AR

$\mu\delta$ (" / yr) = motion proper in DEC

\Rightarrow **quadratic assessable**

Oc e δ , noto d, possiamo ricostruire x, y, z sulla base di considerazioni trigonometriche.

$$\begin{cases} x = d \cos \delta \cos \alpha \\ y = d \cos \delta \sin \alpha \\ z = d \sin \delta \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{x} = d \cos \varphi \cos \alpha - d \dot{\varphi} \sin \alpha \cos \alpha - d \dot{\alpha} \cos \beta \sin \alpha \\ \dot{y} = d \cos \varphi \sin \alpha - d \dot{\varphi} \sin \alpha \sin \alpha + d \dot{\alpha} \cos \beta \cos \alpha \\ \dot{z} = d \dot{\varphi} \sin \beta + d \dot{\alpha} \cos \beta \end{cases}$$

der Temporal

$$\dot{d\delta} (\text{km s}^{-1}) = d(\text{pc}) \cdot 3.026 \cdot 10^3 (\text{km pc}^{-1}) \mu\delta (\text{"/yr}) \frac{1}{206265} \frac{1}{3.156 \cdot 10^7 (\text{days})}$$

$$= 4.74 \mu\delta (\text{"/yr}) \frac{1}{\pi(\text{"})}$$

$$\text{d}d(\text{km s}^{-1}) = 4.74 \mu\text{a}("/\text{yr}) \frac{\lambda}{\pi(")} = 4.74 \mu\text{a}("/\text{yr}) \frac{\lambda}{\pi(")} 15 \cos \delta$$

$$\text{conversion} \rightarrow 1 \text{ pc} = 3.086 \cdot 10^{13} \text{ km}$$

$$\lambda_{\text{CCD}} = 7062.65$$

$$\lambda_{45} \text{ sidereal} = 3.156 \cdot 10^7 \text{ s}$$

Process logic:

$$-(\alpha, s, \mu_\alpha, \mu_S, \pi, d) \rightarrow (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}) \rightarrow (v, n, w) \rightarrow (u, \sigma, w) \rightarrow (\pi, \delta, z)$$

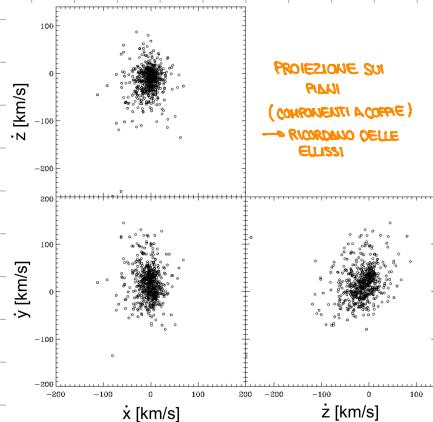
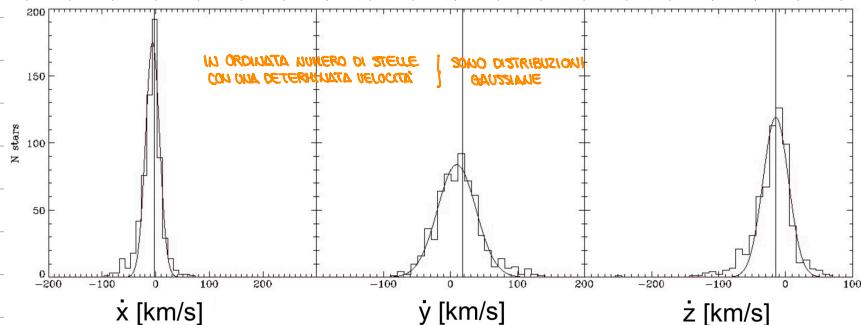
ROTAZIONE TRAS LSR

TRAS FSR

1 STELLA

moto sole

ELISSOIDE DELLE VELOCITÀ → distribuzione delle velocità stellari



componenti di velocità del Sole nel sistema

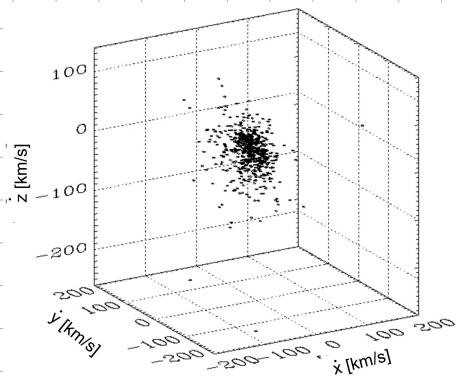
$(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ [quello da cui facciamo le misure]

$$\rightarrow (\dot{x})_0 = 0 \text{ km s}^{-1} \quad (\dot{y})_0 = 0 \text{ km s}^{-1} \quad (\dot{z})_0 = 0 \text{ km s}^{-1}$$

componenti del moto solare rispetto ad un campione di stelle

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = -\langle \dot{x} \rangle = +3 \text{ km s}^{-1} \\ \dot{y}_0 = -\langle \dot{y} \rangle = -17 \text{ km s}^{-1} \\ \dot{z}_0 = -\langle \dot{z} \rangle = +14 \text{ km s}^{-1} \end{cases}$$

⇒ variazioni di variazione del campione di stelle considerato



→ singole componenti = distribuzione gaussiana (proiezione sugli assi)

coppie di componenti = curve di densità ellittiche (proiezioni sui piani)

le superfici di densità delle stelle sono ellissoidi

⇒ le rappresentano matematicamente con un cambio di coordinate

$$(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}) \rightarrow (\xi, \eta, \zeta) \text{ misurate lungo gli assi dell'ellissoide}$$

Distribuzione della densità dei punti sulle superfici

$$n(\xi, \eta, \zeta) = \frac{v}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{\xi}{\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{\eta}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{\zeta}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right]$$

in distanze solari:

$$\sigma_x = 40.5 \text{ km s}^{-1}$$

$$\sigma_y = 27.9 \text{ km s}^{-1}$$

$$\sigma_z = 18.5 \text{ km s}^{-1}$$

$n(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$ è il numero di stelle per unità di volume con componenti comprese

tra $(\xi, \xi + d\xi), (\eta, \eta + d\eta), (\zeta, \zeta + d\zeta)$

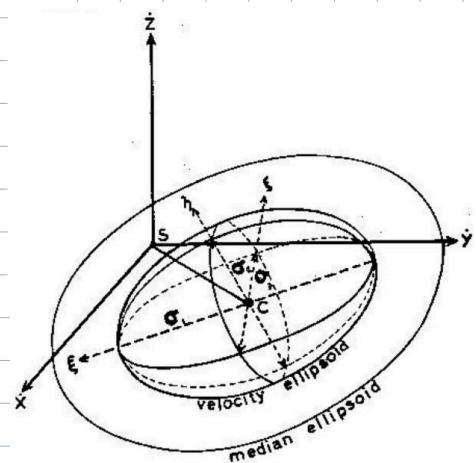
e v è il numero di stelle per unità di volume (con qualsiasi velocità)

$$\left[\left(\frac{\xi}{\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{\eta}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{\zeta}{\sigma_z} \right)^2 \right] = 1$$

sono scarti quadratici medi dist. gaussiane

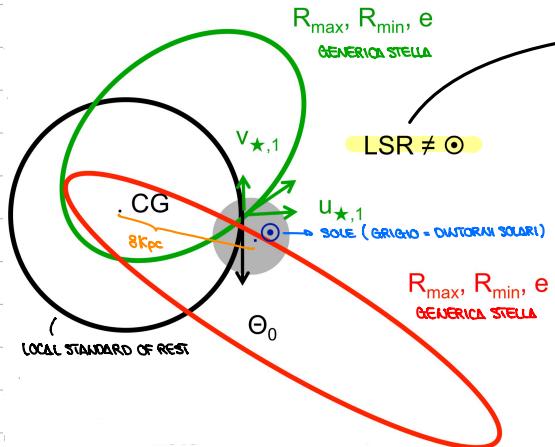
→ è l'ellissoide delle velocità

(conosce velocità lungo tutte le direzioni)



ORBITE DELLE STELLE NEI DINTORNI SOLARI

→ da u_*, v_* a R_{\max}, R_{\min} ($\circ e$)



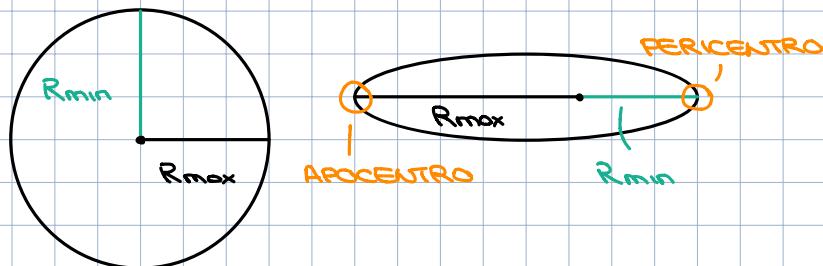
LSR e Sole non coincidono (orbita del Sole non è perfettamente circolare)

→ scarto del 2%

- misuro x, y
- converto in u_*, v_*
- converto in u_*, v_* → LSR
- Trovo T_*, θ_* → FSR

noto il potenziale della Galassia calcolo R_{\max} e R_{\min} (e equivalentemente e) risolvendo l'equazione del moto

ECCENTRICITÀ ORBITALE



$$e = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max} + R_{\min}}$$

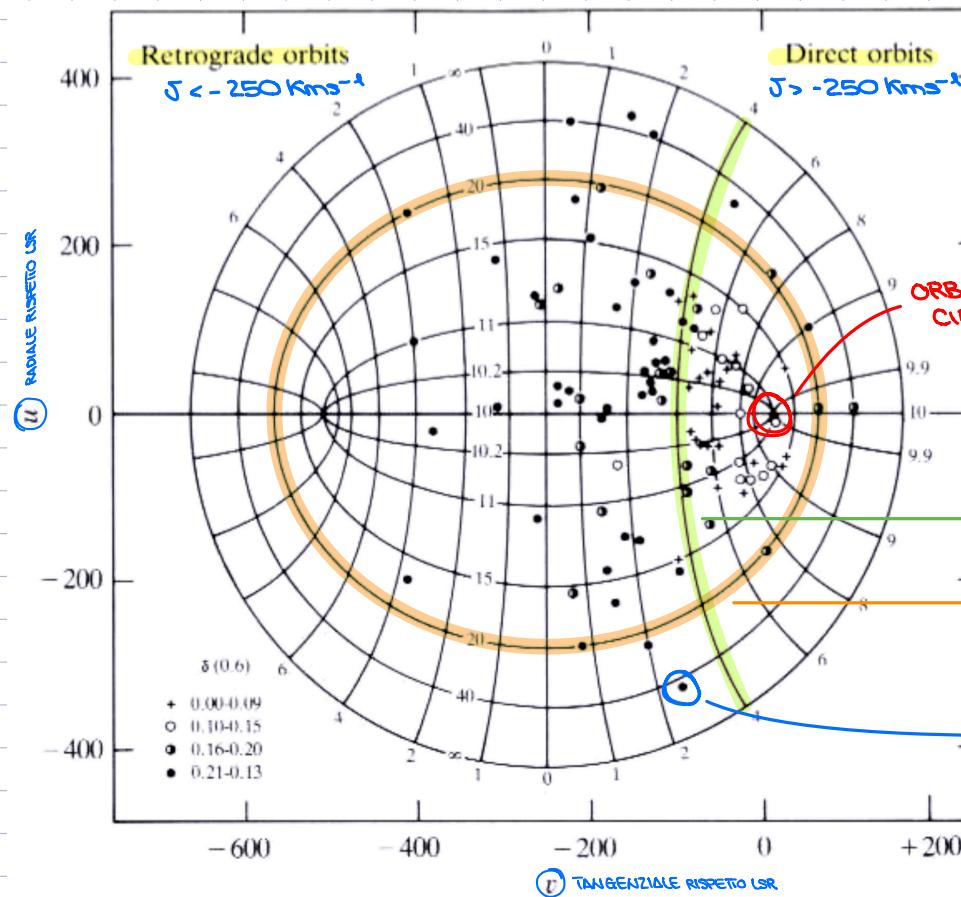
$R_{\max} = R_{\min} \quad e = 0$

$R_{\max} \gg R_{\min} \quad e \approx 1$

(R_{\min} trascurabile rispetto a R_{\max})

DIAGRAMMI DI BOTTINGER

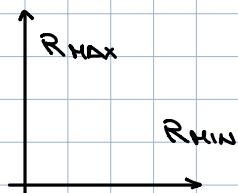
→ diagrammi diagnostici creati in seguito alla risoluzione dell'equazione del moto



All'epoca di questo diagramma

LSR → $R_0 = 8 \text{ kpc}$

$v_0 = 250 \text{ km s}^{-1}$



CURVE DI UGUALE DISTANZA KINEMATICA

CURVE DI UGUALE DISTANZA MASSIMA

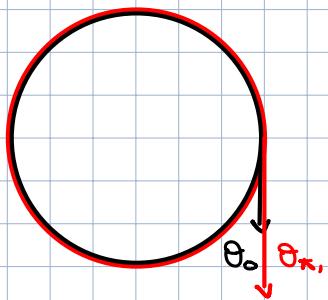
$J \approx -200 \text{ km s}^{-1}$

$v \approx -300 \text{ km s}^{-1}$

→ $R_{\max} = 40 \text{ kpc}$

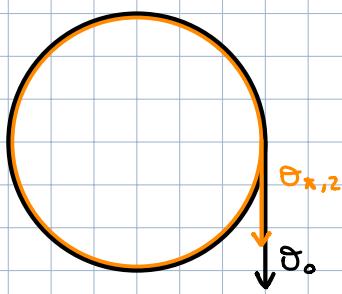
$R_{\min} \approx 3 \text{ kpc}$

ORBITA DIRETTE $\delta_\pi \geq -250 \text{ km s}^{-1}$



$$\delta_\pi = \delta_\pi,1 - \delta_0$$

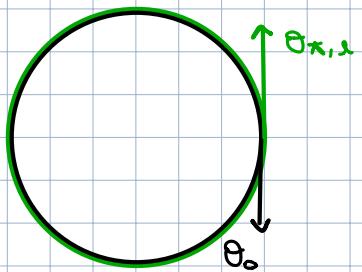
$$\begin{aligned}\delta_{\pi,1} &= \delta_{\pi,1} - \delta_0 > 0 \\ \Rightarrow & > -250 \text{ km s}^{-1}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\delta_{\pi,2} &= \delta_{\pi,2} - \delta_0 < 0 \\ &= \delta_{\pi,2} - 250 \text{ km s}^{-1} \\ \Rightarrow & > 250 \text{ km s}^{-1}\end{aligned}$$

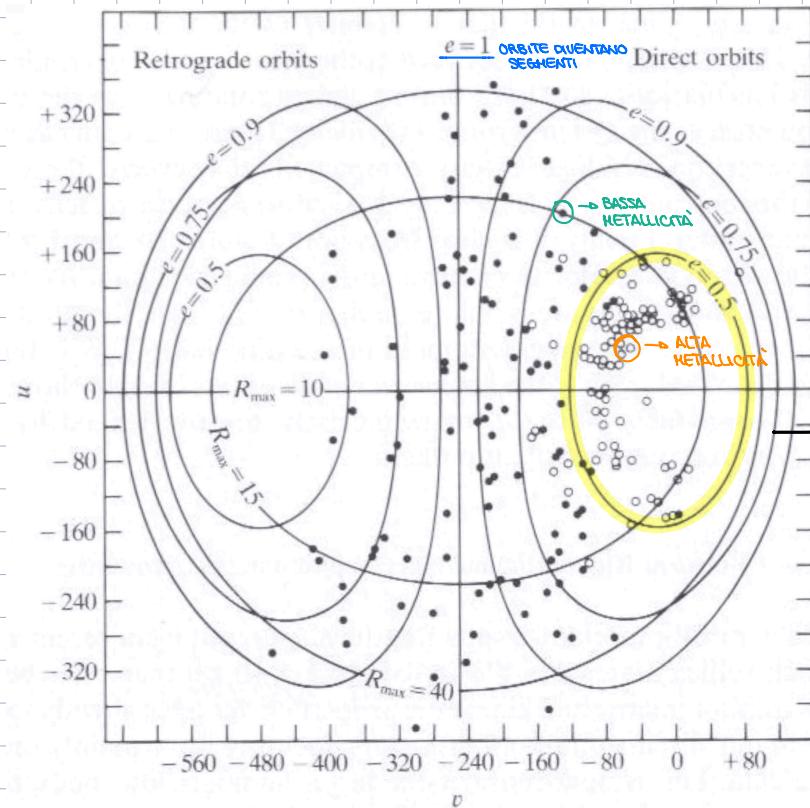
caso $\delta_{\pi,2} = 0$
 $\delta_{\pi,2} = \delta_{\pi,2} - \delta_0$
 $= -250 \text{ km s}^{-1}$

ORBITA RETROGRADE $\delta_\pi < -250 \text{ km s}^{-1}$



$$\delta_\pi = \delta_\pi - \delta_0$$

$$\delta_{\pi,1} = \delta_{\pi,1} - \delta_0 = \delta_{\pi,1} - 250 \text{ km s}^{-1} \Rightarrow < -250 \text{ km s}^{-1}$$



→ diagramma di Boellinger
per eccentricità

$$\text{LSR} \rightarrow R_0 = 10 \text{ kpc}$$

$$\delta_0 = 250 \text{ km s}^{-1}$$

$$e = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max} + R_{\min}}$$

CURVE DI ISOECCENTRICITÀ

I diversi colori indicano stelle con diverso contenuto metallico
 \Rightarrow ipotesi di formazione della via lattea con stelle di diversa generazione