
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI
RENDICONTI

MARIO GIROLAMO FRACASTORO

**Considerazioni sulle stelle vicine e il moto spaziale
del Sole**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 62 (1977), n.6, p. 804–815.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1977_8_62_6_804_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)*

SIMAI & UMI

<http://www.bdim.eu/>

Astronomia. — *Considerazioni sulle stelle vicine e il moto spaziale del Sole.* Nota (*) del Corrisp. MARIO GIROLAMO FRACASTORO.

SUMMARY. — Using Gliese's (1969) and Woolley's (1970) Catalogues, and applying criteria which are described in the present paper, the u , v and w components of the Basic Solar Motion have been deduced, obtaining

$$w_{\odot} = +6.5 \quad , \quad u_{\odot} = +10.6 \quad , \quad v_{\odot} = +12.4 \quad \text{namely} \quad V_{\odot} = 17.3 \text{ km/s.}$$

The Apex coordinates are consequently $l = 48^{\circ}.6$ and $b = +22^{\circ}.2$.

The asymmetry of the v -components is tentatively accounted for. The V_{\odot} does not fit with the average radial velocities of B-type stars in the direction of Apex and Antapex.

Si definisce *Basic Solar Motion* (BSM) quello dedotto dalle velocità che si riscontrano più frequentemente tra le stelle, nelle vicinanze del Sole (vedasi, per esempio Mihalas, *Galactic Astronomy*, p. 101; Freeman and Co., 1968).

Prendendo lo spunto da una pubblicazione abbastanza recente di una tale determinazione (Zagar, 1974), abbiamo ritenuto interessante di rivedere più compiutamente i dati di cui si era servito lo Zagar (Woolley *et al.*, 1970), servendoci tuttavia anche di un altro catalogo di stelle prossime al Sole e cioè quello di Gliese, 1969.

Alcuni Autori, fra i quali lo stesso Zagar, presumono che la distribuzione delle velocità sia gaussiana, cioè casuale, rispetto ad un punto coincidente geometricamente col Sole e soggetto soltanto al moto di rotazione attorno al centro galattico. In tal caso, il BSM si ottiene semplicemente facendo la media aritmetica delle componenti della velocità delle singole stelle (u , diretta verso il centro galattico; v , diretta nel senso della rotazione galattica; w , normale al piano galattico e contata positivamente verso Nord; tutte in km/s), eliminando al più le componenti che superano, in valore assoluto, un certo limite prefissato. Per questa via, lo Zagar ottiene:

$$u_{\odot} = +8.4 \quad ; \quad v_{\odot} = +17.4 \quad ; \quad w_{\odot} = +7.4$$

risultandone per il modulo del vettore velocità il valore $V_{\odot} = 20.7$ e per la direzione dell'Apice le coordinate galattiche $l = 64^{\circ}.2$ e $b = +21^{\circ}.0$.

Tuttavia, a un'analisi più dettagliata, la ripartizione delle componenti appare tutt'altro che gaussiana. Occorre intanto vedere se esistono le premesse per una tale distribuzione perfettamente casuale. Questa esclude ovviamente qualunque legame fisico tra le stesse considerate. Se tutte, o una parte di esse, avessero per esempio in comune una certa velocità spaziale, alla quale il Sole prenda o non prenda parte, sembra evidente che le condizioni richieste per la casualità verrebbero compromesse.

(*) Presentata nella seduta del 23 giugno 1977.

È inoltre da considerare fino a quali limiti gli scarti delle singole velocità possano definirsi gaussiani. Per esempio, anche nella ristretta zona della Galassia considerata (una sfera di $20 \div 25$ parsec di raggio, in confronto con le diverse centinaia di parsec che rappresentano lo « spessore » del braccio di spirale cui appartiene il Sole, o le diverse migliaia di parsec che rappresentano la sua distanza dal centro galattico), si trovano stelle che hanno fortissime velocità relative al Sole, talora dello stesso ordine di grandezza o anche maggiori della velocità rotazionale, che si assume di circa 250 km/s. Queste stelle, evidentemente, non possono essere considerate né cinematicamente né fisicamente legate al nostro Sole, né alla piccola regione galattica popolata dalle stelle vicine. Pertanto sembra necessario e lecito di eliminarle negli istogrammi delle componenti u , v , w .

D'altra parte questi stessi istogrammi possono essere costruiti dividendo le velocità in intervalli di diversa ampiezza a seconda dell'attendibilità che viene attribuita ai valori numerici di cui si dispone. Un'idea di tale attendibilità ci è stata fornita nel presente lavoro dal confronto tra gli istogrammi ottenuti separatamente dai due Cataloghi esaminati. Se ne deduce che l'intervallo di 10 km/s adottato da taluni Autori è eccessivo, perché rischia di mascherare la struttura fina e l'aspetto reale dell'istogramma. Una migliore rappresentazione può ottenersi costruendo gli istogrammi per intervalli di 1 km/s, salvo una perequazione a 5 dei valori.

2. Nel presente lavoro si è cominciato con la componente w , quella normale al piano galattico, presumendo che — almeno per questa — non dovessero sussistere motivi di asimmetria. Mentre infatti la situazione dinamica delle stelle che *anticipano*, nel senso della rotazione galattica, non è la stessa di quella delle stelle che *ritardano* e analogamente la situazione di quelle che *entrano* dirigendosi verso le zone centrali della Galassia non è la stessa di quelle che *escono*, non si vede a priori perché dovrebbero esistere asimmetrie tra le stelle che vanno verso Nord e quelle che vanno verso Sud, attraversando nei due sensi il piano galattico.

Analizzando dunque la ripartizione delle w (preliminarmente per intervalli Δw di 10 km/s), secondo i dati contenuti nei due cataloghi, si trova quanto riportato in Tabella I.

Tuttavia, se gli istogrammi vengono costruiti per intervalli di un solo km/s, procedendo poi a una perequazione fino a 5 valori, si trova che ambedue i cataloghi danno un doppio massimo di frequenze N , a -9.0 ($N = 68$) ed a -2.5 km/s ($N = 71$) (fig. 1). Questo vale anche selezionando stelle di particolari tipi spettrali, ed indica l'esistenza di *almeno* due correnti stellari, ambedue dirette verso Sud (rispetto al moto solare), una con una $w_a = -9.5$ e l'altra con una $w_b = -3.0$ km/s. Inoltre, anche in questo caso, l'andamento dell'istogramma è lungi dall'essere gaussiano. Conseguentemente, la definizione del BSM appare fin d'ora molto fragile anche se si introduce — come hanno fatto alcuni Autori — il criterio della massima frequenza, specialmente nel caso della componente tangenziale v , di cui diremo più avanti.

TABELLA I

w		Numero (N)		
		Gliese	Woolley	Totale
da	0 a + 9	194	218	412
	10 19	78	89	167
	20 29	44	35	79
	30 39	19	23	42
	40 49	8	9	17
	50 59	4	3	7
	60 69	3	2	5
	70 79	1	2	3
	80 89	0	0	0
	90 99	1	1	2
	100 109	1	1	2
	110 119	1	1	2
	120 129	1	2	3
	≥ 130	0	0	0
da	— 1 a — 10	317	381	698
	11 20	229	256	485
	21 30	114	115	229
	31 40	68	77	145
	41 50	21	27	48
	51 60	9	9	18
	61 70	6	7	13
	71 80	5	4	9
	81 90	4	4	8
	91 100	0	3	3
	101 110	0	1	1
	111 120	0	0	0
	121 130	2	0	2
	$\leq - 131$	0	0	0

Comunque, l'istogramma delle w è stato anche esaminato ai lati dei due massimi, che esso presenta, almeno fino a quando non si notino altre asimmetrie, cui evidentemente corrispondono altre correnti stellari.

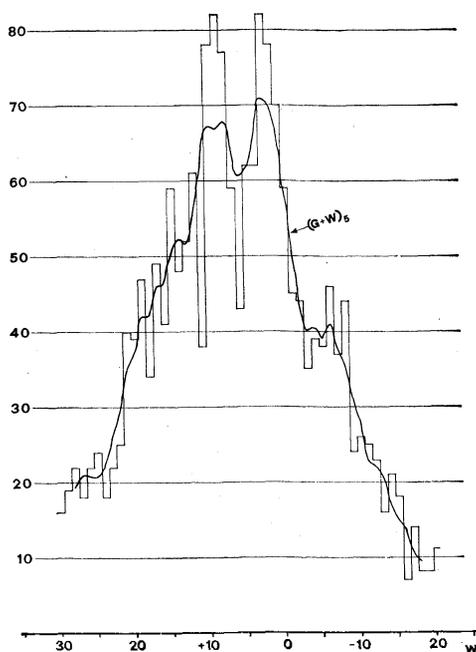


Fig. 1.

In definitiva, dai due cataloghi si ottiene rispettivamente

$$\text{(Gliese)} \quad w_0 = -6.43$$

$$\text{(Woolley)} \quad w_0 = -6.54.$$

Per conseguenza, tenendo conto di quanto trovato col criterio della massima frequenza, si può assumere il seguente valore per la componente normale al piano galattico del BSM:

$$w_{\odot} = +6.5 \text{ km/s.}$$

È interessante notare che i valori estremi delle w sono rispettivamente:

stella N°	w
629.2 AB - 130
830 - 130
345 + 116
494 + 122

il valor medio risultando $w = -5.5 \text{ km/s}$, cioè molto vicino a quello trovato in base alla massima frequenza.

3. Esaminando in modo analogo la componente radiale delle velocità u , si ottiene preliminarmente la distribuzione della Tabella II.

TABELLA II

u		Numero (N)		
		Gliese	Woolley	Totale
da	o a +			
	9	110	120	230
	10	101	123	224
	20	75	74	149
	30	54	58	112
	40	31	45	76
	50	21	23	44
	60	9	13	22
	70	10	10	20
	80	2	4	6
	90	4	5	9
	100	2	3	5
	110	1	2	3
	120	0	0	0
	130	0	0	0
	140	0	1	1

	260	0	2	2
	270	2	1	3
	280	0	1	1
—	1	127	175	302
	11	144	160	304
	21	116	136	252
	31	106	119	225
	41	76	74	150
	51	38	46	84
	61	27	32	59
	71	27	23	50
	81	21	21	42
	91	4	7	11
	101	6	7	13
	111	3	7	10
	121	3	6	9
	131	3	2	5
	141	2	1	3
	151	0	0	0

	181	1	1	2

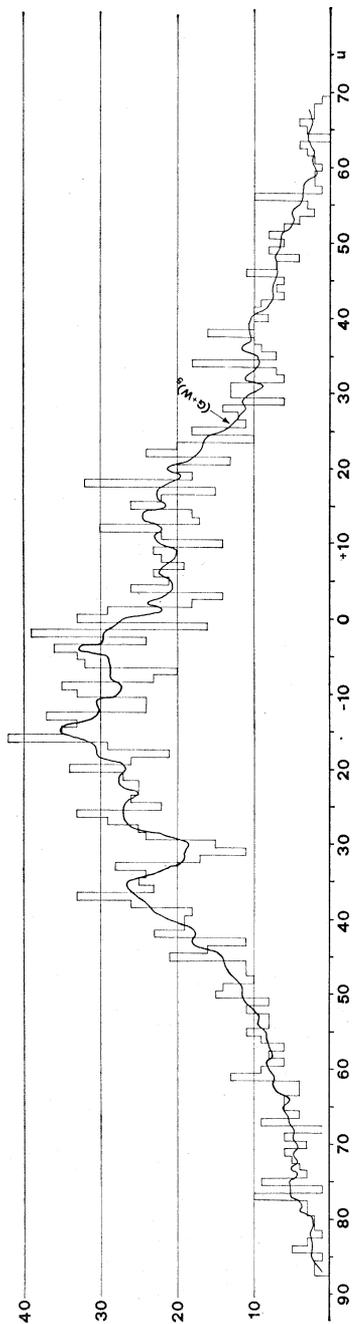


Fig. 2.

Anche in questo caso la distribuzione km per km si differenzia significativamente da quella ottenuta per intervalli Δu di 10 km. Si notano (fig. 2) alcuni massimi che rimangono tali anche dopo aver effettuato la perequazione per 5 valori adiacenti. La massima frequenza in assoluto si ha per $u = -15$ ($N = 35.2$). Un massimo quasi della stessa entità si ha per $u = -4$ ($N = 32.8$) ed altri due abbastanza evidenti, seppur meno pronunciati si riscontrano per $u = -35$ ($N = 26.6$) e per $u = +13.5$ ($N = 24.4$).

Nel suo complesso, tuttavia, la curva è abbastanza simmetrica, cioè non si mostra una prevalenza numerica tra le stelle che *entrano*, cioè si dirigono verso il centro galattico, e quelle che *escono*. Basandosi sui quattro massimi di cui si diceva sopra, e valutandoli in base al loro « peso », mediante l'espressione

$$\frac{\sum Nu}{\sum N}$$

si ottiene

$$u_{\odot} = -10.6.$$

Pertanto, si può assumere per questa componente del moto solare si può assumere il valore

$$u_{\odot} = +10.6 \text{ km/s.}$$

La distribuzione delle u può essere anche studiata limitatamente alle stelle con parallasse trigonometrica $\pi \geq 0''.100$. Ne risulta una distribuzione molto dispersa, per valori di u che vanno da -90 a $+71$ km/s, con massimi pressocché equivalenti per $u = -24$, -11 , -2 , $+5$ e $+20$ km/s. Questa ripartizione, pertanto, non può essere interpretata col criterio della massima frequenza. Il valore medio delle u risulta -7.3 e può essere interpretato solamente come indice di una velocità collettiva delle stelle più vicine concorde con quello del Sole e pari a 3 km/s rispetto al BSM.

4. La distribuzione delle v è notoriamente asimmetrica. Come essa si presenta nei due Cataloghi, sempre usando preliminarmente intervalli larghi ($\Delta v = 10$) è indicato nella Tabella III.

E inoltre si ha:

stella Nr. 861	$v = -210$
191	-288
699.1	-321
579.2 AB	-402

secondo Gliese e in più si hanno le stelle

Nr. 9722	$v = -213$
9371	-309

contenute solamente nel Catalogo di Woolley.

TABELLA III

ν	Numero (N)		
	Gliese	Woolley	Totale
da + 1 a + 10	122	133	255
11 20	35	38	73
21 30	12	14	26
31 40	7	5	12
41 50	4	4	8
50	0	0	0
da 0 a — 9	209	245	454
10 19	245	279	524
20 29	179	205	384
30 39	103	113	216
40 49	76	76	152
50 59	41	57	98
60 69	37	33	70
70 79	17	24	41
80 89	9	13	22
90 99	8	13	21
100 109	9	8	17
110 119	2	2	4
120 129	3	2	5
130 139	0	0	0
140 149	0	0	0
150 159	2	1	3
160 169	1	2	3
170 179	1	0	1
180 189	0	0	0
190 199	1	2	3

Di queste stelle si dirà più avanti.

In considerazione di questa asimmetria, si deve ovviamente impiegare il criterio della massima frequenza. Anche in questo caso tuttavia, riportando

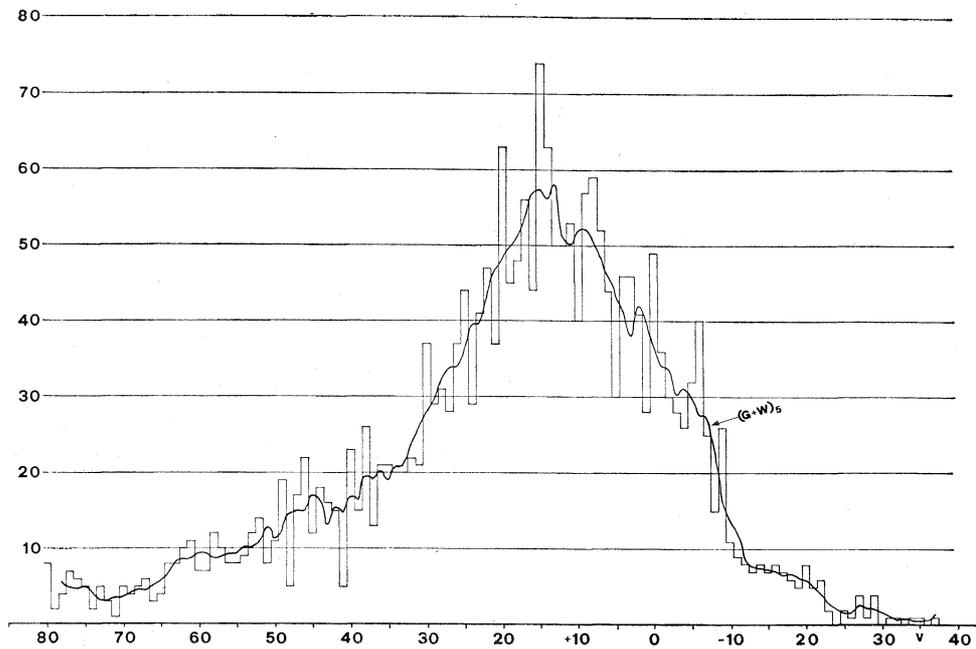


Fig. 3.

le v di km in km e poi perequando a 5, si hanno due massimi, seppure poco separati (fig. 3). Il primo di essi ($N = 58$) si ha per $v = -14.5$ e il secondo, un pò meno elevato ($N = 52$), per $v = -9$. La media pesata dà

$$v_0 = -11.6.$$

Perequando per 10 valori, il doppio massimo sparisce e si ha la massima frequenza per $v = -12$, in accordo col dato precedente. Occorre dire che, se si considerassero soltanto i dati del Catalogo di Woolley, in questo caso le cose cambierebbero sensibilmente e si avrebbero i due massimi rispettivamente a -13.5 ($N = 28$) ed a -2 ($N = 21$), per cui - calcolando al solito la media pesata - risulterebbe

$$v_0 = -8.6.$$

Alcune informazioni interessanti si hanno, se si considerano le componenti v solo per le stelle che hanno u compreso tra -45 e $+25$, cioè al netto del moto solare - con $|u'| \leq 35$; in altre parole quelle che non hanno forti velocità di entrata o di uscita (fig. 4). I due massimi rimangono per $v = -15$ e $v = -8$, di altezza pressoché identica (24.4 e 25.6 rispettivamente), per cui si ricava

$$v_0 = -11.5.$$

Se infine si considerano soltanto le stelle con $|u'| \leq 5$, cioè praticamente apocentriche o pericentriche (stelle segnate con \bullet in fig. 4), allora il doppio massimo diventa ancor più evidente per i valori $v = -21$ ($N = 4.6$) e $v = -8.5$ ($N = 6.6$) risultando quindi

$$v_0 = -13.6.$$

In definitiva, il Sole mostra di *anticipare* rispetto alla maggioranza delle stelle vicine, in misura non ben definibile, che va da -8.6 a -13.6 km/s

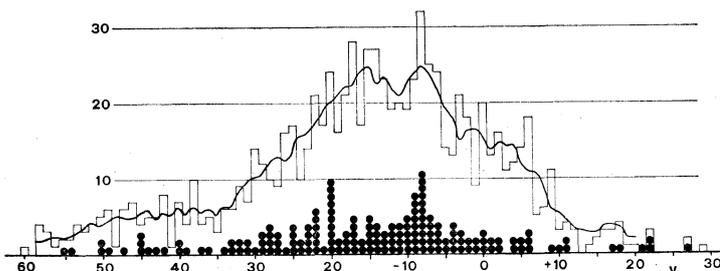


Fig. 4.

a seconda dei gruppi considerati. In mancanza di altre ipotesi, che forse si potrebbero porre, si può adottare un valore medio

$$v_{\odot} = +12.4.$$

Di conseguenza, secondo le nostre analisi, il BSM risulta

$$\begin{aligned} V &= (u_{\odot}^2 + v_{\odot}^2 + w_{\odot}^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= 17.3 \text{ km/s.} \end{aligned}$$

La direzione dell'Apice risulta inoltre

$$b = 22^{\circ}.2 \quad l = 48^{\circ}.6$$

corrispondenti, in coordinate equatoriali a

$$\text{AR} = 17^{\text{h}} 53^{\text{m}} \quad , \quad D = +23^{\circ}.3.$$

5. Vale la pena, adesso, di spendere due parole per quanto concerne i criteri seguiti nei nostri conteggi.

Abbiamo ritenuto di contare per una sola volta i sistemi binari o multipli, adottando i valori u , v , w , dati per la stella principale oppure – ove possibile – la media dei valori dati per le componenti. Le conseguenze di questo criterio sono tutt'altro che trascurabili, se si pensa che, ad esempio nel Catalogo di Gliese, si contano – su 1529 oggetti, dei quali soltanto 1049 hanno in realtà $\pi \geq 0''.050$ e non di tutti sono conosciute le velocità spaziali – ben 290 sistemi binari, cioè il 19%, mentre 29 sono i sistemi tripli, cioè l'1.9%.

Esistono tuttavia stelle che, per le loro coordinate poco diverse, per la loro parallasse e per il loro moto proprio possono considerarsi fisicamente legate, allo stesso modo come anche la *Proxima Centauri* si considera facente parte di un solo sistema, insieme alla binaria visuale α Centauri AB. Ma su questo ritorneremo in un prossimo lavoro.

Per quanto concerne le stelle « ultraveloci », i Cataloghi di Gliese e di Woolley ne contengono una cinquantina, quattro delle quali hanno addirittura un moto retrogrado rispetto alla rotazione galattica. Si tratta delle seguenti:

Stella Nr.	u_a	v_a	w_a
191	+ 29	- 30	- 47
9371	+ 153	- 50	+ 135
9511 AB	+ 290	- 160	- 13
9610	- 172	- 60	- 33

Le componenti u_a , v_a , w_a sono assolute, cioè riferite ad una terna cartesiana fissa, assumendo per il Sole una velocità di rotazione di + 250 km/s su una orbita circolare. Le prime tre escono dalla Galassia, mentre la quarta si dirige verso l'interno.

Per controllare il valore così ottenuto della velocità spaziale del Sole, si è fatto un esame delle velocità radiali (VR) di stelle luminose (contenute nel Catalogue of Brights Stars) nella direzione dell'Apice, entro un angolo solido avente 30° di ampiezza in declinazione e 2^h di ampiezza in ascensione retta.

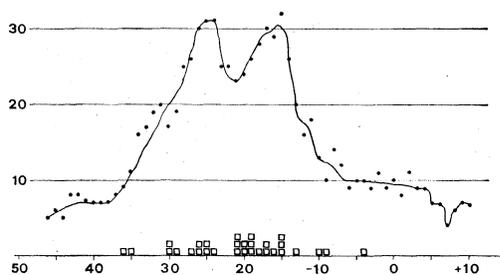


Fig. 5.

Si trova ancora una volta (fig. 5) una distribuzione a due massimi, per una VR di - 25 e di - 15 km/s. Selezionando tra queste stelle quelle di tipo spettrale B (segnate in figura con \square) e facendo la media delle loro velocità radiali, si trova per il Sole una velocità assoluta di avvicinamento pari a

$$V = - 20.7 \text{ km/s} .$$

Analogamente, operando su stelle attorno alla direzione dell'Antiapice, si trova ancora (fig. 6) una distribuzione a due massimi, per una VR di +31 e +19.5 km/s. Le sole stelle di tipo spettrale B (segnate in figura con \square) danno una velocità media di allontanamento pari a

$$V = +25.7 \text{ km/s.}$$

Questi risultati dimostrano l'esistenza di moti sistematici nella Galassia, non soltanto per le stelle che si trovano nelle immediate vicinanze del Sole ma anche per stelle molto giovani e relativamente più lontane. Se si facesse la media tra i valori delle VR più piccoli in valore assoluto, e cioè -15 e $+19.5$ km/s, si avrebbe in media una velocità spaziale del Sole molto vicina a quella trovata in base alle stelle vicine. Tuttavia questo risultato necessita di ulteriori considerazioni.

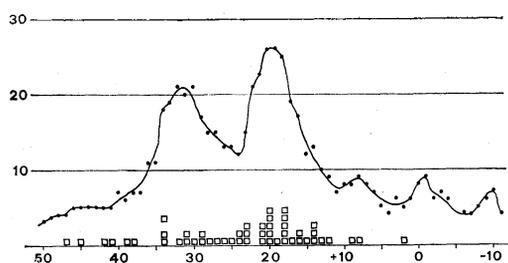


Fig. 6.

Proponiamo infine una spiegazione probabilmente inedita per l'asimmetria della componente v . Le stelle che hanno $v < v_{\odot}$ (e sono la maggioranza) ritardano rispetto al Sole stesso, nel senso della rotazione galattica. Ammesso che il Sole abbia una velocità corrispondente ad un moto circolare, ne segue che queste stelle debbono trovarsi in prossimità dell'apocentro, nella loro rotazione galattica, provenendo e dirigendosi verso regioni più centrali della Galassia stessa. Esse quindi provengono da zone più ricche di stelle, e si comprende come siano più numerose di quelle che, anticipando rispetto al moto solare ($v > v_{\odot}$), si trovano in prossimità del pericentro, e quindi si dirigono e provengono da regioni più esterne della Galassia, più povere quindi di stelle. Naturalmente, per la v , c'è un limite superiore $v_{\text{par}} = \sqrt{2} v_{\odot} = 350$ km/s circa (cioè $v = +100$ km/s, se ci si riferisce al Sole), che corrisponde alla velocità parabolica. Tuttavia la carenza di stelle si fa sentire molto prima di questo limite.

BIBLIOGRAFIA

- ZAGAR F. (1974) - « Rend. Acc. Lincei », 57, 199.
 WOOLLEY R. *et al.* (1970) - « R. Obs. Annals », Nr. 5.
 GLIESE W. (1969) - « Ver. Astron. Rechen-Inst. », Nr. 22.