



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Surveying young stars with Gaia: Orion and the Solar neighbourhood

Zari, E.M.

### Citation

Zari, E. M. (2019, October 22). *Surveying young stars with Gaia: Orion and the Solar neighbourhood*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/79821>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/79821>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/79821> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Zari, E.M.

**Title:** Surveying young stars with Gaia: Orion and the Solar neighbourhood

**Issue Date:** 2019-10-22

---

## Riepilogo

---

La figura di Orione il cacciatore è una vista familiare nel cielo invernale dell'emisfero Boreale. L'intera area della costellazione, che è mostrata nel pannello grande della Fig. 5.16, è un sito di formazione stellare straordinariamente attivo ed è stato oggetto di numerosi studi astronomici. Orione ospita numerosi giovani ammassi stellari, sovrapposti lungo la linea di vista, e a diversi stadi evolutivi. La spiegazione della dettagliata sequenza di eventi (la cosiddetta storia della formazione stellare) che hanno causato la formazione di una popolazione tanto numerosa è uno degli argomenti principali di questa tesi.

Quasi tutte le stelle blu e brillanti visibili nella Fig. 5.16 appartengono alla "associazione OB di Orione". Le associazioni OB sono state inizialmente identificate come gruppi sparsi di stelle giovani e massive. Queste strutture, le cui dimensioni fisiche sono nell'ordine di centinaia di parsec<sup>5</sup>, sono l'ultimo stadio del processo di formazione stellare di stelle massive e il contesto in cui nascono nuove stelle. Per esempio, l'attuale formazione stellare nella nebulosa di Orione (5.16, pannello in basso) è connessa alle precedenti generazioni di stelle massive nei gruppi adiacenti tra loro dell'associazione.

Analogamente, la formazione di singole associazioni OB può essere relazionata a eventi di formazione stellare su larga scala, che avvengono su scale di centinaia di parsec. Nelle vicinanze del Sole (entro 500 parsec), questi eventi hanno dato origine a numerose associazioni. Storicamente si ritiene che le associazioni formino una struttura ad anello, chiamata "Gould Belt" (la cintura di Gould). Le associazioni e gli ammassi stellari che compongono la Gould Belt sono molto giovani se confrontati con il Sole, che ha circa cinque miliardi di anni, e hanno iniziato a formarsi all'incirca quando i dinosauri si sono estinti (circa 66 milioni di anni fa). I più antichi resti di *Homo habilis* e *Homo erectus* sono datati tra i 4.5 e i 2 milioni di anni fa: questa è circa l'età degli ammassi più giovani della Gould Belt, come l'ammasso della nebulosa di Orione mostrato nella Fig. 5.16, in basso.

Se questi uomini primitivi avessero osservato le stelle in una notte serena, avrebbero visto un cielo leggermente diverso da quello che osserviamo in questo momento. Le stelle infatti si muovono. Esse orbitano in modo ordinato intorno al centro della nostra galassia, la Via Lattea, ma ci sono anche degli andamenti di velocità locali che sono differenti da regione a regione. I membri delle associazioni OB nascono probabilmente dalle stesse nubi di gas e polvere, e pertanto condividono non solo la stessa velocità di rotazione, ma anche quella locale. Questa proprietà è spesso sfruttata per separare le stelle che appartengono a una associazione OB dalle altre stelle nella stessa regione.

Una frazione delle stelle di tipo O e B si muove a velocità più alte della norma: queste stelle sono chiamate "stelle fuggitive" (runaway stars). Le stelle fuggitive non acquisiscono le loro velocità alla nascita, ma durante la loro vita. Per spiegare l'origine di tali velocità, sono stati suggeriti due meccanismi. Il primo prevede che la stella fuggitiva sia in origine parte di un sistema binario, costituito da due stelle massive.

---

<sup>5</sup>1 parsec corrisponde circa a  $3 \times 10^{16}$  m, o 3.28 anni luce.

Se una delle stelle esplode come supernova, l'altra viene improvvisamente rilasciata dall'energia gravitazionale che lega il sistema, e lanciata ad alta velocità su una nuova traiettoria. Il secondo meccanismo prevede invece che una stella fuggitiva si possa essere formata in un giovane ammasso stellare molto denso, come l'ammasso della nebulosa di Orione. In questo ambiente, due sistemi binari possono avvicinarsi e interagire gravitazionalmente. Una interazione di questo tipo può distruggere entrambi i sistemi, e una o più stelle possono essere espulse ad alta velocità.

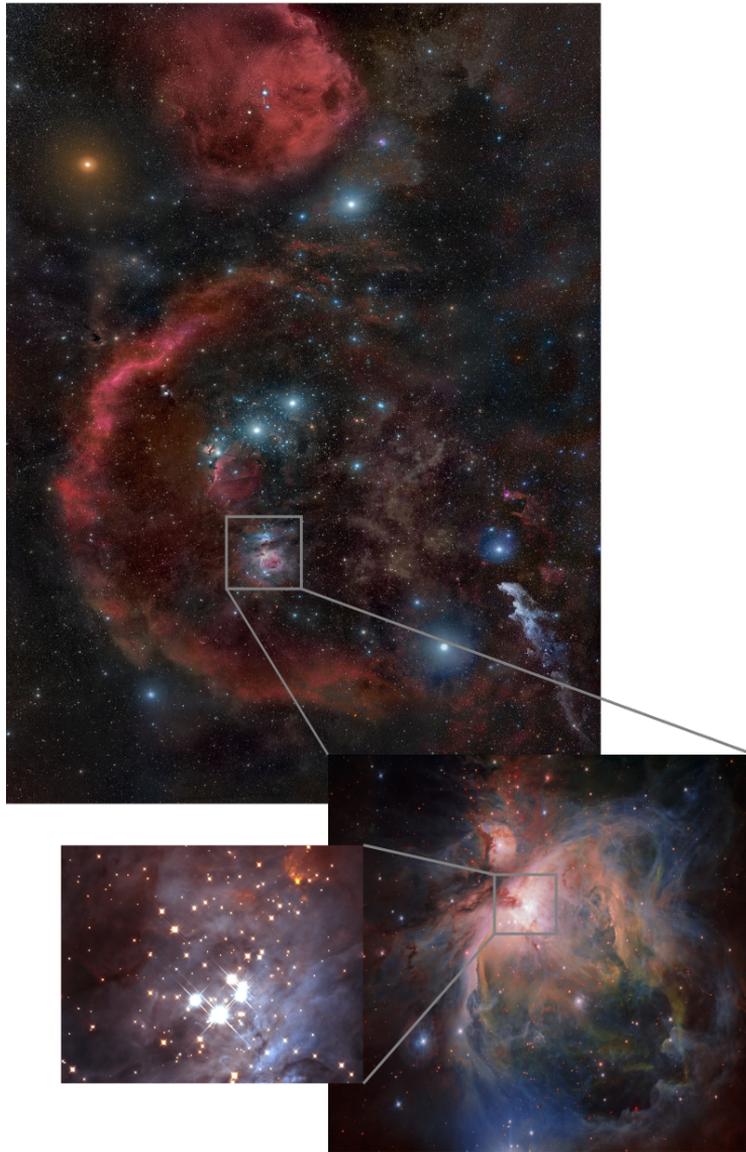
## **Gaia**

Dipanare la struttura e la storia della formazione stellare delle giovani associazioni richiede una conoscenza accurata delle distanze, delle velocità e delle età delle stelle che ne fanno parte. I dati della missione spaziale ESA *Gaia* sono cruciali sotto questo punto di vista. L'obiettivo principale di *Gaia* è di comporre la più grande e precisa mappa tridimensionale della nostra galassia, misurando le posizioni e i moti di più di un miliardo di stelle al suo interno e oltre. La posizione di una stella in cielo cambia nel tempo in seguito al suo moto relativo rispetto al Sole e al moto della Terra intorno al Sole. La proiezione del moto della stella rispetto al Sole sulla sfera celeste è chiamato "moto proprio". Il moto proprio è una velocità angolare (l'arco sul cielo percorso in un certo tempo). La corrispondente velocità è la "velocità tangenziale". La velocità tangenziale può essere calcolata dalla velocità angolare se la distanza della stella è nota. Se la proiezione della velocità della stella lungo la linea di vista (la "velocità radiale") può essere misurata, si ottiene la "velocità totale" sommando la velocità tangenziale a quella radiale. Il moto apparente di una stella dovuto alla rotazione della Terra intorno al Sole si chiama "moto parallattico", e dipende dalla distanza della stella. Più il moto parallattico è piccolo, più la distanza della stella è grande.

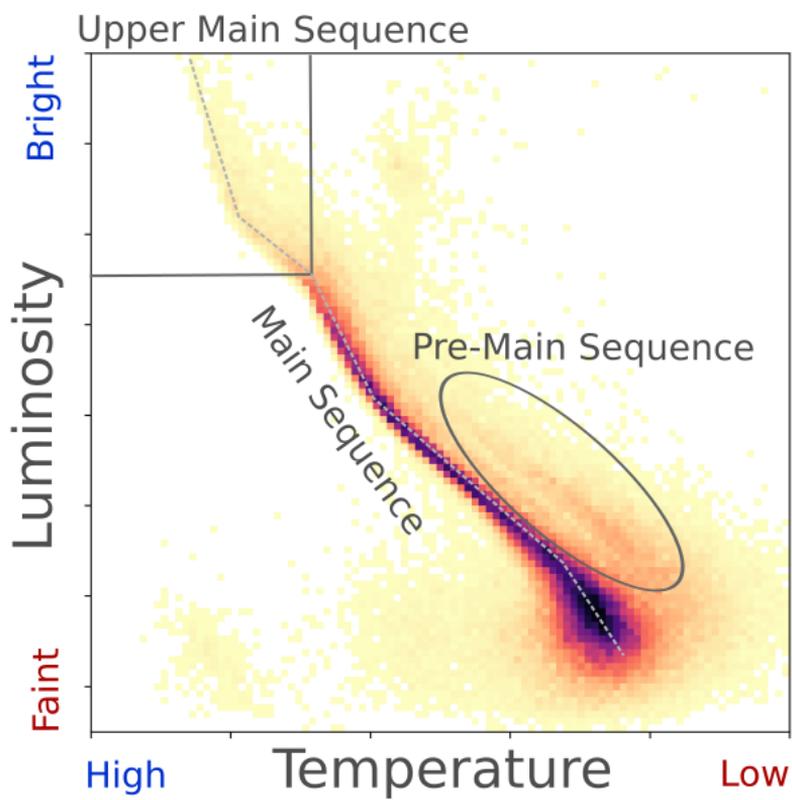
*Gaia* non è la prima missione del suo genere. Negli anni novanta, il satellite *Hipparcos* ha prodotto un catalogo di posizioni e moti di circa centomila stelle. *Hipparcos* ha permesso di effettuare un censo estensivo delle associazioni OB vicine al Sole. Tuttavia i dati non erano sufficientemente precisi per determinare la struttura tridimensionale nemmeno della associazione più vicina, Scorpione-Centauro, o per permettere di compiere progressi significativi su Orione. *Gaia* migliora significativamente *Hipparcos* per una serie di motivi. Per esempio, *Gaia* misura le posizioni e i moti delle stelle circa 200 volte più accuratamente di *Hipparcos*. La precisione di *Gaia* è tanto alta da poter misurare l'angolo che corrisponde al diametro di una moneta sulla Luna, mentre *Hipparcos* riusciva a misurare solo quello corrispondente all'altezza dell'astronauta che la teneva in mano.

## **Il contributo di questa tesi**

Questa tesi fa uso delle prime pubblicazioni dei dati di *Gaia* (*Gaia* DR1 e DR2) per ottenere un censo dettagliato delle popolazioni stellari giovani nelle vicinanze del Sole, esplorando la distribuzione e le proprietà delle stelle giovani e massive e di quelle poco massive, ancora in pre-sequenza principale. La figura 5.17 mostra la collocazione delle stelle massive e in pre-sequenza principale nel "diagramma colore-magnitudine" della regione di Orione. Un diagramma colore-magnitudine è uno strumento usato per classificare le stelle in base alla loro luminosità, temperatura, massa e stadio evolutivo. Quando nel nucleo di una stella iniziano le reazioni nucleari di fusione di idrogeno in elio, la stella entra nella sequenza principale (indicata dalla la linea tratteggiata nel-



**Figura 5.16:** Pannello in alto: stelle e gas nella regione di Orione. Il filamento rosso e brillante che crea un arco al centro dell'immagine è il "Barnard's Loop" (Rogelio Bernal Andreo, *DeepSkyColors.com*). Pannello in basso a destra: la nebulosa di Orione, dove stanno avvenendo fenomeni di formazione stellare (ESO/G. Beccari). Pannello in basso a sinistra: regione centrale dell'ammasso della nebulosa di Orione (K.L. Luhman (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, Mass.); and G. Schneider, E. Young, G. Rieke, A. Cotera, H. Chen, M. Rieke, R. Thompson (Steward Observatory, University of Arizona, Tucson, Ariz.) and NASA/ESA).



**Figura 5.17:** Diagramma colore-magnitudine delle stelle nella regione di Orione. La linea grigia tratteggiata indica la sequenza principale (main sequence); il rettangolo grigio delimita l'alta sequenza principale (upper main sequence); l'ellisse grigia evidenzia la pre-sequenza principale (pre-main sequence).

la Fig. 5.17). La posizione di una stella nella sequenza principale dipende dalla sua massa: le stelle massive e giovani si collocano nella sequenza principale alta (rettangolo grigio in alto a sinistra della figura). Prima di entrare nella sequenza principale, le stelle sono collocate nella pre-sequenza principale (ellisse grigia): in questo stadio, le stelle si stanno contraendo, e la loro temperatura si sta innalzando, ma la fusione dell'idrogeno non è ancora partita. Le stelle giovani entrano nella pre-sequenza principale dopo aver acquisito quasi tutta la loro massa, e dopo aver spazzato via l'involucro di gas e polvere che le avvolgeva. La fase di pre-sequenza dura da qualche milione a qualche decina di milioni di anni, a seconda della massa della stella: un tempo molto corto rispetto a quello che, in media, la stella passa in sequenza principale.

Gli obiettivi di questa tesi sono comprendere come si formano e disperdono le associazioni OB, quali sono le caratteristiche delle popolazioni stellari nelle singole associazioni, quali sono le proprietà dell'insieme delle associazioni OB in termine della loro disposizione spaziale, e paragonare queste informazioni a ciò che viene osservato in altre galassie. Questi argomenti sono affrontati usando la associazione OB di Orione come banco di prova per studiare i meccanismi che portano alla formazione di una associazione OB, studiando la disposizione delle associazioni OB e delle regioni di formazione stellare entro 500 pc dal Sole, e infine analizzando le proprietà cinematiche delle stelle massive di tipo O e B entro 1000 pc dal Sole.

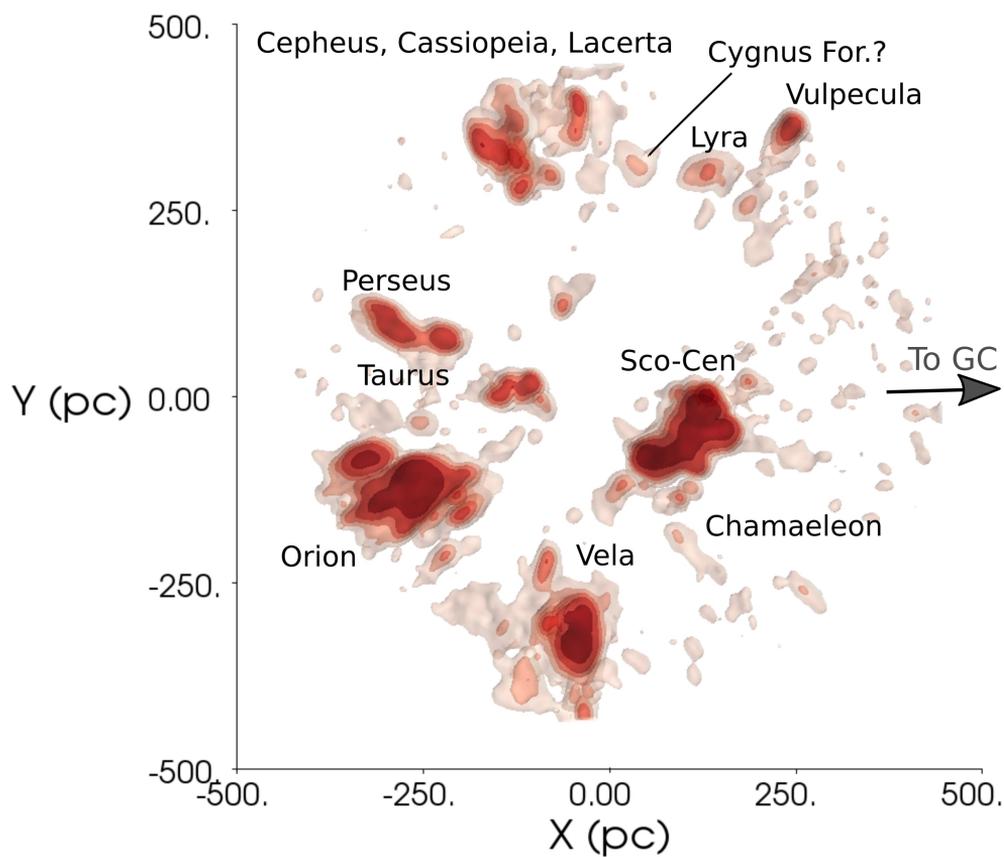
Il fulcro è, in particolare, rispondere alle seguenti domande:

- Quali sono le popolazioni stellari della associazione di Orione?
- Qual è la storia della formazione stellare dell'associazione di Orione?
- Qual è la struttura della regione vicino al Sole, tracciata dalle stelle giovani?
- Quante stelle fuggitive ci sono nelle vicinanze del Sole?

Lo studio presentato nel **Capitolo 2** rappresenta il primo passo per svelare la complessità della storia della formazione stellare di Orione, dal punto di vista dei vari episodi di formazione stellare, della loro durata, e dei loro effetti sul mezzo interstellare. I dati di *Gaia* DR1 dimostrano la presenza di una popolazione stellare giovane, distribuita intorno ad ammassi noti. Le età stimate per i membri di questa popolazione suggeriscono la presenza di una precisa sequenza di età.

Queste conclusioni sono state in parte rivisitate nel **Capitolo 3**. La maggiore accuratezza di *Gaia* DR2 rispetto a *Gaia* DR1 e il più alto numero di stelle per cui è possibile determinare distanze e velocità tangenziali hanno permesso uno studio meticoloso della configurazione spaziale dei gruppi stellari che compongono la associazione OB e delle loro velocità ed età. La conclusione principale di questo capitolo è che gli eventi di formazione stellare in Orione seguono una sequenza complessa, che ha causato la presenza di sotto-strutture sia spaziali che cinematiche.

Il **Capitolo 4** si concentra sull'intera regione nelle vicinanze del Sole (la regione entro 500 parsec dal Sole). Mappe in tre dimensioni della distribuzione spaziale delle stelle in pre-sequenza principale e nella parte alta della sequenza principale mostrano tre strutture prominenti, Scorpione-Centauro, Orione e Vela (si veda la Fig. 5.18). La distribuzione delle stelle in pre-sequenza principale in funzione della loro età mostra che le stelle più giovani si raggruppano in ammassi compatti, e sono circondati dalle stelle più vecchie, la cui distribuzione spaziale è invece più diffusa. Notevolmente, le mappe non mostrano alcuna evidenza della presenza della Gould Belt.



**Figura 5.18:** Distribuzione della densità delle stelle in pre-sequenza principale più giovani di 20 milioni di anni nel piano galattico. Il Sole è al centro, a  $(X, Y) = (0, 0)$ , l'asse  $x$  è diretto verso il centro galattico (la cui direzione è indicata dalla freccia), e l'asse  $y$  segue la direzione della rotazione galattica.

Il **Capitolo 5** presenta una ricerca delle stelle fuggitive entro 1000 parsec dal Sole. Le candidate stelle fuggitive sono selezionate tra le stelle in alta sequenza principale, e classificate come fuggitive usando la loro velocità tangenziale e, quando possibile, la loro velocità totale. In particolare, le candidate stelle fuggitive sono definite come le stelle che hanno velocità tangenziale significativamente differente dal resto della popolazione, o velocità totali più alte di  $30 \text{ km s}^{-1}$ . L'analisi si concentra sulle stelle fuggitive candidate nelle regioni di Orione e Scorpione-Centauro. In Orione, sono state aggiunte sei nuove candidate all'insieme di stelle fuggitive note. In Scorpione-Centauro, sono state identificate due candidate che probabilmente condividono la stessa origine.

## Conclusioni

La conclusione principale di questa tesi è che gli eventi di formazione stellare che conducono alla formazione delle associazioni OB sono complessi e non compresi appieno. Non c'è una teoria della formazione stellare che spieghi completamente la sotto-struttura (spaziale, cinematica e evolutiva) osservata in Orione e in altre associazioni OB. La stessa origine delle associazioni OB rimane in qualche modo misteriosa. La struttura della regione vicino al Sole è innegabilmente diversa da quello che si pensava prima di *Gaia*. Queste scoperte richiedono una revisione delle teorie che spiegano l'innesco e la propagazione della formazione stellare. Le future pubblicazioni dei dati del satellite *Gaia* e di future indagini spettroscopiche contribuiranno all'esplorazione più dettagliata delle sotto-strutture fisiche e cinematiche dei grandi complessi di formazione stellare.

