

G. Germano Sacco

Chi sta uccidendo gli ammassi giovani? Un nuovo caso per la Gaia-ESO Survey

Who is killing the young star clusters? A case for the Gaia-ESO Survey

INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri Largo E. Fermi 5, 50125 Firenze, Italia

Riassunto. La maggior parte delle stelle si formano in ammassi che rapidamente si disperdono lasciando isolati i loro membri. Quale sia il processo fisico che governa la loro evoluzione e dissipazione non è ancora chiaro. Alcuni recenti risultati, ottenuti dalla Survey Spettroscopica Gaia-ESO, stanno dando nuovi interessanti indizi che chiariscono alcuni aspetti del problema, ma che pongono anche nuove domande.

Parole chiave. Formazione Stellare, Ammassi Stellari, Dinamica Stellare, Spettroscopia.

Capire da dove ha avuto origine il sistema solare è uno degli obiettivi principali dell'astronomia contemporanea. Tre decenni di studi hanno dimostrato che la maggior parte delle stelle, come ad esempio il Sole, non si formano in isolamento, ma in ammassi, con un numero di membri compreso tra poche decine e alcuni milioni. D'altro canto, la maggior parte degli ammassi non rimane "confinata" a lungo. Infatti, circa il 90% delle stelle della Via Lattea, compreso il So-

Abstract. We know that most stars form in clusters that very quickly disperse, leaving their members isolated. However, the process driving the early evolution of star clusters and their dissipation is not yet clear. Recent results obtained with the large spectroscopic survey Gaia-ESO are providing new interesting clues that can shed more light but also raise new questions.

Keywords. Star formation, Stellar clusters, Stellar dynamics, Spectroscopy.

Understanding the origin of our own solar system is one of the main goals of current astronomical research. Three decades of studies have demonstrated that most stars, like the Sun, do not form in isolation but in clusters composed of a few tens to millions of siblings. However, most of those groups do not remain "bound" for a long time. In fact, about 90% of the Galactic stars -- including the Sun -- do not belong to any cluster, but live in isolation, populating the Milky Way field. Efforts in this area of astronomy are, therefore, aimed at understanding how



le, non appartiene a nessun ammasso, ma popola il campo galattico. Molti degli sforzi in questo ambito dell'astronomia sono, quindi, finalizzati a capire come si formano gli ammassi e come si evolvono fino a disperdersi.

Secondo le teorie più recenti, le stelle si formano in nubi molecolari giganti con una massa compresa tra parecchie migliaia e alcuni milioni di masse del Sole. Queste nubi molecolari collassano e si frammentano a causa di un processo fisico molto complesso, regolato dalla gravità della nube, dalla turbolenza del gas e dai campi magnetici. Gli ammassi giovani appena formati sono immersi nel gas, che costituisce gran parte della massa e li mantiene "gravitazionalmente confinati". Dopo pochi milioni di anni (un periodo molto breve per stelle come il Sole che sopravvivono per miliardi di anni), il "feedback" delle stelle più massive disperde il gas causando la loro dissoluzione. Con la parola "feedback", gli astronomi intendono quell'insieme di processi fisici (esplosioni di supernova, venti stellari, pressione di radiazione e getti protostellari) che comportano l'espulsione di massa ed energia dalla stella.

Sulla base di questa teoria, chiamata con il nome non troppo allegro di "mortalità infantile", gli ammassi giovani che hanno già disperso il gas, dovrebbero essere fuori dall'equilibrio e in fase di espansione. Recentemente, la teoria della "mortalità infantile" è stata messa in discussione da simulazioni numeriche molto sofisticate. Queste simulazioni mostrano che ciascuna nube molecolare forma molte strutture con masse e dimensioni differenti e che queste strutture non sono mantenute legate dal gas. In particolare, i fisici teorici che hanno pubblicato i risultati di queste simulazioni e sostengono che il "feedback" stellare non abbia

star clusters form and how they evolve to disperse in the field.

State-of-the-art theory claims that stars form within giant molecular clouds with masses from several thousand to millions of times the mass of the Sun, which collapse and fragment due to a very complex physical process driven by the gravity of the cloud, the turbulence of the gas, and the magnetic fields. New-born star clusters are embedded in gas, which makes up a large part of their mass and keeps them gravitationally bound. However, after a few million years (a short period of time for stars like the Sun which survive for billions of years), the "feedback" of the most massive stars disperses the residual gas, triggering the cluster dispersion. By the word "feedback", astronomers indicate a set of physical processes (supernova explosions, stellar winds, radiation pressure, and protostellar jets) that lead to the expulsion of mass and energy from stars.

According to this theory, called by the not too cheerful name of "infant mortality", young star clusters which have already dispersed the gas should be out of equilibrium and expanding. Recently, the theory of "infant mortality" has been challenged by very sophisticated computer simulations of the cluster formation process. These simulations suggest that molecular clouds form many sub-clusters, which span a large range of masses and sizes and are not kept bound by the gas. Indeed, the theorists that published the results of these simulations claim that the stellar "feedback" has no influence on the evolution of young star clusters, which is driven by the gravitational interaction between stars already formed. In this scenario, cluster dispersion could be gravitationally triggered by the gas surrounding the cluster, by means of a physical

nessuna influenza nell'evoluzione degli ammassi. Sulla base di questo scenario, la loro dispersione sarebbe causata dalla gravità del gas circostante, attraverso un processo fisico chiamato con il nome ancora più tetro di "effetto della culla crudele".

Come per molte altre dispute scientifiche, i migliori giudici sono i dati sperimentali o, nel caso dell'astronomia, le osservazioni. In particolare, lo studio della cinematica, ovvero dei moti delle stelle, negli ammassi giovani con e senza gas, può dare informazioni importanti per risolvere questo puzzle. Grazie all'effetto doppler, le velocità delle stelle lungo la linea di vista possono essere misurate con una tecnica chiamata spettroscopia. Nonostante sia una tecnica ben nota e usata già da tempo, raccogliere un gran numero di spettri di qualità sufficiente per misurare velocità così piccole come quelle delle stelle negli ammassi non è affatto facile. Per questa ragione, fino a pochi anni fa, studi di questo genere sono stati realizzati solo per un numero molto piccolo di ammassi.

La situazione è cambiata radicalmente grazie alla Survey Gaia-ESO. Questa Survey sta osservando gli spettri di circa centomila stelle nel campo e in ammassi appartenenti alla Via Lattea con il Very Large Telescope in Cile. L'Osservatorio Astrofisico di Arcetri gioca un ruolo molto importante in questo progetto. Infatti, la survey è guidata da un astronomo di Arcetri in collaborazione con un professore dell'Università di Cambridge e altri sei astronomi dell'Osservatorio che svolgono funzioni importanti per la preparazione e l'analisi delle osservazioni. La Survey Gaia-ESO ha già ottenuto risultati molto importanti in aree molto diverse dell'astronomia galattica, come per esempio l'origine e l'evoluzione della Via Lattea o l'evoluzione stellare (vedi, per esempio, l'articolo di Laura Magrini

process defined with the even darker name of "cruel cradle effect".

As with many scientific theoretical disputes, the best judges are experimental data, or in the case of astronomy, observations. In particular, studying the kinematics, i.e. the motions of stars, in young clusters with and without residual gas may give important information for solving this puzzle. Thanks to the Doppler effect, stellar velocities along the line of sight can be measured by a technique called spectroscopy. Although this technique is quite developed and well-known, collecting a large number of spectra of sufficiently high quality to measure the small velocities of stars within a cluster is a very complex task; until a few years ago, these studies were therefore carried out only on a very small number of clusters.

The situation radically changed with the Gaia-ESO Survey. This is a large public spectroscopic survey carried out with the Very Large Telescope in Chile, which is collecting spectra of about one hundred thousand stars in the field in clusters belonging to the Milky Way. The Arcetri Observatory plays an important role in this ambitious project, since the survey is led by an Arcetri astronomer in collaboration with a professor at the University of Cambridge, while six other astronomers working at Arcetri carry out critical tasks for the preparation and analysis of the observations. The Gaia-ESO Survey has already obtained several results in different areas of galactic astronomy, from the origin and evolution of the Milky Way to the theory of stellar evolution (see, for example, the article authored by Laura Magrini and Sofia Randich in Vol. 3 of the journal "Il Colle di Galileo").

One of the main goals of the Gaia-ESO Survey is to measure stellar velocities in young

e Sofia Randich sul Volume 3 de “Il Colle di Galileo”).

Uno degli obiettivi della Survey è la misura delle velocità delle stelle appartenenti ad ammassi giovani per studiare la loro origine e capire perché si disperdono nel campo. Nonostante le osservazioni non siano state ancora completate, sono stati già ottenuti parecchi risultati importanti. Le osservazioni degli ammassi giovani Chamaeleon I e NGC 2264 (vedi Figura 1), i quali sono immersi nella nube genitrice, mostrano che sono composti da popolazioni stellari multiple con velocità ed età differenti. Inoltre, mettono in evidenza che le stelle all’interno dell’ammasso si muovono con velocità maggiore rispetto ad i nuclei protostellari, ovvero grumi di gas che sono considerati gli embrioni delle stelle. Questi risultati confermano le teorie più recenti sull’evoluzione degli ammassi. Infatti, dimostrano che le regioni di formazione stellare sono popolate da molte sottostrutture e che, durante la prima fase dell’evoluzione, le stelle incrementano le loro velocità indipendentemente dal “feedback”.

Risultati meno chiari, ma non meno interessanti, vengono dalle osservazioni degli ammassi che hanno disperso il gas. In particolare, la survey Gaia-ESO ha osservato due ammassi indipendenti, chiamati Gamma Velorum e NGC 2547, che si trovano in una regione ricca di stelle massive chiamata Vela. Con loro grande sorpresa, gli astronomi che hanno analizzato queste osservazioni, hanno trovato, in direzione dei due ammassi, una nuova popolazione di stelle giovani, più estesa, ed in fase di espansione. Se questi due ammassi e la nuova popolazione hanno un’origine comune e come evolveranno non è chiaro. Comunque, questa scoperta dimostra che i processi fisici che portano alla formazione e rapida dissipazione

star clusters in order to investigate their origin and why they disperse in the field. Although the survey is not yet completed, several important results have already been obtained. Observations of the young clusters Chamaeleon I and NGC 2264 (see Fig. 1), which are embedded in a gas cloud, show that they are composed of multiple stellar populations with different velocities and ages. Furthermore, they demonstrate that stars move faster than the so called pre-stellar cores, namely blobs of cold gas that are considered the embryos of stars. Both results support the more recent view of cluster evolution. In fact, they prove that sites of star formation are populated by many sub-clusters and that during the earliest phases of cluster evolution stars increase their velocities independently of “feedback”.

Less clear but not less intriguing results have come from observations of clusters that have already dispersed the gas. In particular, the Gaia-ESO Survey observed two independent clusters, Gamma Velorum and NGC 2547, located in a region rich in young massive stars called Vela. To their great surprise, astronomers that analysed these observations found in the direction of both clusters another, previously unknown, young population of stars, which is more extended and is expanding. Whether these two clusters and the new young stellar population have a common origin and how they will evolve is not known. However, this discovery shows that processes leading to the formation and quick dissipation of young clusters are probably more complex than current models and computer simulations suggest.

The quest for understanding the origin and evolution of young star clusters will become even more compelling in the next years thanks to the new European space mission Gaia. This

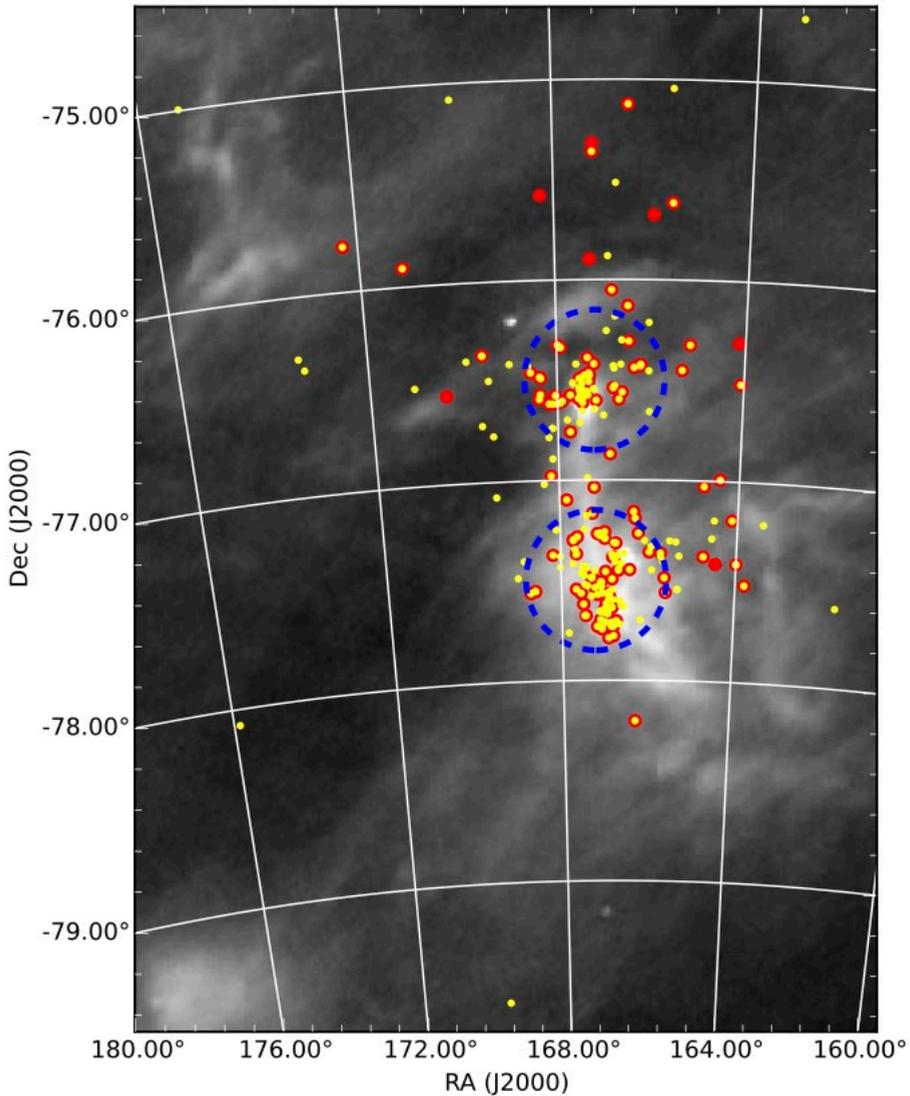


Figura 1. Mappa nel lontano infrarossa della regione di Chamaeleon I ricavata dalla Survey di AKARI. I punti rappresentano le stelle che si sono già formate e, in particolare, quelli rossi le stelle osservate dalla Survey Gaia-ESO (Figura da Sacco et al. 2017).

Figure 1. Far infrared map of the Chamaeleon I star forming region from the AKARI all sky survey. The dots represent stars already formed. In particular, red dots indicate the stars observed by the Gaia-ESO Survey (Figure from Sacco et al. 2017).

degli ammassi sono probabilmente più complessi di quello che i modelli attuali e le simulazioni al computer suggeriscono.

La ricerca per comprendere l'origine e l'evoluzione degli ammassi giovani diverrà ancora più interessante nei prossimi anni grazie alla nuova missione spaziale Europea Gaia. Questo satellite misurerà posizioni, distanze e velocità (tangenziali al piano del cielo) di più di un miliardo di stelle. Questa montagna di nuovi dati ci consentirà di ricostruire l'origine delle sottostrutture che popolano le diverse regioni di formazione stellare e di raccogliere informazioni vitali sulla loro evoluzione, come per esempio, capire se sono in fase di espansione o contrazione. L'assassino degli ammassi giovani ha i giorni contati.

G. Germano Sacco è un ricercatore dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Dopo aver completato il Dottorato di Ricerca presso l'Università degli Studi di Palermo, ha lavorato negli Stati Uniti presso il Rochester Institute of Technology, e infine si è spostato a Firenze. Durante la sua carriera ha studiato diversi aspetti della teoria della formazione stellare e, più recentemente, ha dedicato molti dei suoi sforzi alla Gaia-ESO Survey.

satellite will provide very precise positions, distances and velocities (along the plane of the sky) for more than one billion stars. This wealth of new data will allow us to trace back the origin of sub-clusters that populate different sites of star formation and to gather vital information on their evolution, allowing us, for example, to understand if they are expanding or contracting. The killer of the young star clusters has nowhere to hide.

G. Germano Sacco is a researcher at the Astrophysical Observatory of Arcetri. After receiving his PhD from the University of Palermo, he worked in the USA at the Rochester Institute of Technology, and, eventually, moved to Florence. During his career, he has studied different aspects of the star formation theory, and most recently has dedicated his efforts to the Gaia-ESO Survey.