

Maite Beltrán

# Il mistero dell'origine delle stelle massicce

*Understanding the origin of massive stars*

INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri



Il Colle di  
Galileo

**Sommario.** Osservazioni realizzate con il più grande interferometro sub-millimetrico, l'Atacama Large Millimeter Array, hanno permesso di rivelare la presenza di un disco di materia circumstellare in rotazione attorno ad una stella di 18 masse solari appartenente ad una regione di formazione di stelle massicce della Via Lattea. Questa scoperta aiuta a risolvere il puzzle della formazione di questa classe di stelle.

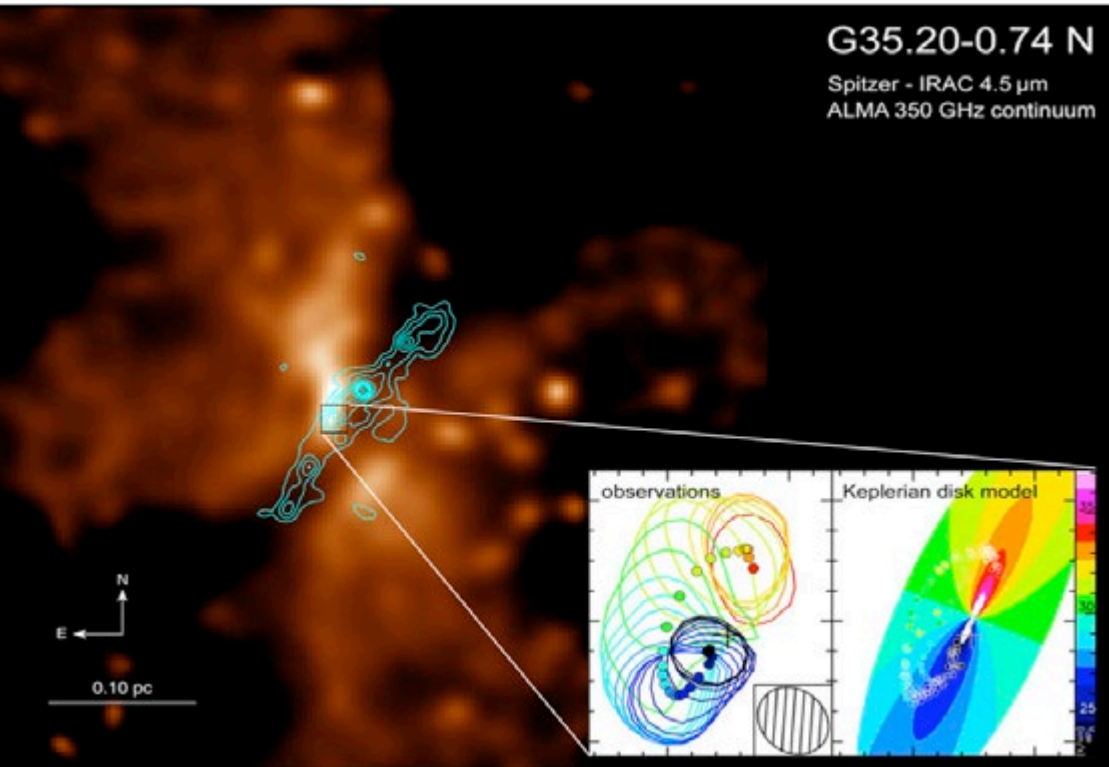
**Parole chiave.** Formazione stellare, stelle di grande massa, interferometri

Le stelle di massa molto maggiore di quella del Sole giocano un ruolo fondamentale nella sintesi degli elementi chimici più pesanti dell'idrogeno ed elio, i cosiddetti "metalli". Inoltre, esse contribuiscono in maniera determinante a regolare la formazione e l'evoluzione delle galassie grazie all'immissione nello spazio interstellare di energia meccanica e radiativa. Tuttavia, ancora non sono stati del tutto chiariti i meccanismi che presiedono alla loro formazione. Ciò è dovuto al fatto che le stelle massicce sono molto rare e che nella nostra galassia si trovano a grandi distanze dal Sole. Esse sono anche difficili da studiare a causa dei brevi

**Abstract.** Observations carried out using the most powerful sub-millimeter interferometer, the Atacama Large Millimeter Array (ALMA), have revealed the presence of a circumstellar disk rotating around a young star of 18 solar masses, located in a high-mass star-forming region of the Milky Way. This new finding contributes to our understanding of the physical processes responsible for the formation of massive stars.

**Keywords.** Star formation, high-mass stars, interferometers

Stars much more massive than the Sun play a fundamental role in the synthesis of chemical elements heavier than hydrogen and helium, known as "metals". They also help to regulate the formation and evolution of galaxies through the injection of radiative and mechanical energy into the interstellar medium. However, despite their importance, little is known about how they are formed. This is because high-mass stars are relatively rare, and tend to be located far away



**Fig. 1.** Immagine a falsi colori dell'emissione a  $4.5 \mu\text{m}$  associata alla regione G35.20-0.74N che rivela la cavità creata dall'outflow bipolare. I contorni rappresentano la mappa dell'emissione nel continuo a  $870 \mu\text{m}$  ottenuta con ALMA. Il pannello di sinistra mostra i picchi dell'emissione di acetonitrile (cerchi colorati al centro dei contorni del 50% dell'emissione in ciascun canale di velocità) ottenuti da un fit Gaussiano 2-D di ogni canale (la scala di velocità corrispondente è visibile sulla destra). Il pannello di destra confronta gli stessi picchi di emissione con il miglior fit ottenuto da un modello che assume rotazione Kepleriana di un disco circumstellare.

Fig. 1. False-color large-scale image of the  $4.5 \mu\text{m}$  emission associated with the young massive star G35.20-0.74 N, tracing the cavities created by a bipolar outflow. The contours are a map of the  $850 \mu\text{m}$  continuum emission imaged with ALMA. The left inset shows the methyl cyanide emission peaks (solid circles; the patterns are 50% contours in each velocity channel) obtained from a 2-D Gaussian fit channel by channel (the corresponding velocity scale is shown on the right). The right inset compares the same emission peaks with the best fit obtained from a model assuming Keplerian rotation in a circumstellar disk.

tempi evolutivi e delle enormi estinzioni che rendono completamente opache alla radiazione visibile le dense nubi interstellari che le ospitano. La grande sfida è capire se le grandi stelle si formano attraverso meccanismi simili a quelli che governano il processo delle più numerose stelle di massa solare e sub-solare oppure in una maniera completamente diversa che coinvolge processi di interazione dinamica di stelle di massa minore o addirittura la loro coalescenza.

Lo stato delle cose sta cambiando rapidamente con l'avvento del più potente radiotelescopio operante a lunghezze d'onda millimetriche e sub-millimetriche, l'Atacama Large Millimeter Array (ALMA) posto sulle Ande cilene. A queste lunghezze d'onda l'emissione del gas è praticamente trasparente, rivelando così le zone più interne delle nubi molecolari. Inoltre, ALMA ha risoluzioni angolari elevatissime, inferiori al secondo d'arco, che permettono lo studio dettagliato della distribuzione spaziale e cinematica del gas e della polvere a livelli mai raggiunti in precedenza.

Allo scopo di ottenere maggiori informazioni sul processo di formazione, il nostro gruppo ha ottenuto alcune delle prime osservazioni a  $870\ \mu\text{m}$  fatte con ALMA. La nostra sorgente si trova ad una distanza di 7000 anni luce nella regione detta G35.20-0.74N. La protostella immersa nella nube ha una luminosità pari a 30000 volte quella del Sole, risiede al centro di un outflow bipolare e, su grande scala, è associata ad una nebulosa a forma di farfalla (vedi Fig. 1). L'obiettivo delle nostre osservazioni è la ricerca della presenza di un disco di materia circumstellare in rotazione attorno alla protostella: una tale struttura confermerebbe in maniera diretta l'ipotesi che anche le stelle massicce si formano nello stesso modo di quelle di tipo solare.

from us. They are also difficult to study since they evolve very quickly and form in dense dusty clouds that are opaque to short-wavelength radiation. All this makes the study of the birth of massive stars a major challenge, since it is still unclear whether they form in a similar manner to stars of lower mass or in a completely different way that may involve heavy dynamic interactions of multiple low-mass stars or even their coalescence.

This unfavorable situation has improved very recently with the advent of the most powerful radio telescope operating at millimeter and sub-millimeter wavelengths, the Atacama Large Millimeter Array, ALMA, located in the Chilean Andes. At these wavelengths, the cloud emission is practically transparent allowing us to probe its innermost regions. Moreover, ALMA has sub-arcsecond angular resolution, making it possible to study the morphology and kinematics of the dust and gas surrounding the forming star with unprecedented detail.

In order to gain insight into the formation of high-mass stars, we performed some of the first ALMA observations at a sub-millimeter wavelength of  $870\ \mu\text{m}$ . Our target is located at a distance of 7,000 light years in the high-mass star forming region called G35.20-0.74 N. The heavily embedded protostar has a luminosity 30,000 times that of the Sun, it apparently sits at the center of a bipolar outflow and, at large scale, is associated with a butterfly-shaped nebula (see Fig. 1). The objective of our observations was to search for the presence of a circumstellar disk rotating around the central massive object: the existence of such a disk would indeed confirm that massive stars form in a similar way to solar-type stars.

The ALMA interferometer was used to observe the dust continuum emission from the dense

L'interferometro ALMA è stato usato per osservare l'emissione della polvere nel continuo con una risoluzione angolare di  $0.5''$ , corrispondenti a circa 1000 unità astronomiche alla distanza di G35.20-0.74N. Le osservazioni hanno evidenziato la presenza di una struttura allungata, parallela alla strozzatura della nebulosa a farfalla visibile in Fig. 1. Lungo questa struttura si osserva una serie di cinque nuclei densi, uno dei quali (nucleo B) si trova al centro geometrico della nube bipolare e lungo il jet nord-sud evidenziato dall'emissione radio e infrarossa. Tutti questi indizi puntano al fatto che sia proprio la sorgente protostellare a fornire l'energia necessaria all'espulsione di materia a grandi velocità. Tuttavia, manca ancora l'informazione definitiva sulla cinematica del gas nelle zone più vicine alla protostella stessa.

Il passo finale è rappresentato dall'osservazione di una serie di righe di emissione della molecola di acetonitrile ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ), un tracciante di densità e temperature molto elevate che si possono riscontrare soltanto nelle zone in prossimità della protostella. In effetti, l'estrema risoluzione di ALMA ha permesso di isolare il moto del gas intorno al nucleo B rispetto a quello a maggiori distanze. Dal fit delle righe di emissione della molecola in ciascun intervallo di velocità e assumendo rotazione Kepleriana, si è trovato che il gas denso traccia un disco di raggio di 2500 unità astronomiche visto quasi di taglio, in orbita intorno ad un oggetto centrale di 18 masse solari (vedi il dettaglio in Fig. 1).

Questo risultato è davvero incoraggiante e conferma il modello di formazione basato sul processo di accrescimento graduale di materia da un disco in rotazione, accompagnato dall'espulsione di una parte del gas in getti ad alta velocità in direzione perpendicolare all'asse del disco.

matter of G35.20–0.74N at an angular resolution of  $0.5''$ , corresponding to about 1,000 Astronomical Units at the distance of the source. The observations revealed an elongated structure across the “waist” of the butterfly-shaped nebula visible in Fig. 1. Along this structure, a chain of at least five cores can be seen, one of which (core B) is located close to the geometrical center of the bipolar nebula and lies along the North–South jet traced by the infrared and radio emission. This suggests that the young, embedded high-mass protostar provides the energy for the ejection of material. However, the kinematic information on the gas at even closer distance to the protostar was still lacking.

A decisive step further was provided by the observations of a number of lines of the methyl cyanide ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) molecule. This is a high-density tracer that can be excited only in very dense, hot environments close to the forming star. Indeed, ALMA's superb resolution enables us to isolate the gas motion around core B. By fitting the peak of the  $\text{CH}_3\text{CN}$  emission in each velocity channel in order to characterize the line emission at different velocities, and assuming Keplerian rotation, we have found that the dense gas is tracing an almost edge-on disk with radius of 2,500 AU, rotating around a central mass of 18 solar masses (see inset in Fig. 1).

This is a very important finding that confirms the scenario according to which high-mass stars form via an accretion-based mechanism, similar to that of stars like our Sun in which phenomena such as collapse, accretion, rotation, and expansion in jets/outflows play a fundamental role.

## Bibliografia

Sánchez-Monge, À., Cesaroni, R., Beltrán, M.T. et al. (2013), *Astronomy & Astrophysics*, 552, L10.

*Maite Beltrán* si è laureata in fisica alla Universitat de Barcelona. Dal 2009 è ricercatrice presso l'INAF-Osservatorio Astrofisico di Arcetri. La sua attività di ricerca riguarda lo studio delle prime fasi della formazione stellare, in particolare di stelle di massa maggiore del Sole, utilizzando strumentazione infrarossa e radio.

## Bibliography

Sánchez-Monge, À., Cesaroni, R., Beltrán, M.T. et al. (2013), *Astronomy & Astrophysics*, 552, L10.

*Maite Beltrán* obtained her physics degree from the Universitat de Barcelona. Since 2009 she has been a researcher at the INAF- Arcetri Astrophysical Observatory. Her research activity is focused on the study of the early stages of star formation, in particular of intermediate and high-mass stars, from infrared to centimeter wavelengths.

