

# TESI DI LAUREA MAGISTRALE in SCIENZE FISICHE E ASTROFISICHE

Alessandro Coletta

**TITOLO:** “Studio comparativo ed evolutivo di molecole organiche complesse in regioni di formazione stellare di alta massa”

**RELATORE:** Prof. Francesco Fontani

**CORRELATORE:** Dr. Victor M. Rivilla

## ABSTRACT

Lo studio di molecole organiche complesse (COMs, composte da 6 o più atomi tra cui il carbonio) in regioni molecolari di formazione stellare (*clumps*) è attualmente tra i campi di ricerca in maggior sviluppo in astrofisica. La rivelazione di molecole sempre più grandi e composite, alcune delle quali di particolare rilevanza in quanto ritenute base dei processi biochimici, sta permettendo una maggior comprensione di meccanismi e condizioni di formazione e sviluppo delle molecole prebiotiche nel mezzo interstellare.

In questo lavoro sono state analizzate le molecole formiato di metile ( $\text{CH}_3\text{OCHO}$ ), etere dimetilico ( $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ), formammide ( $\text{NH}_2\text{CHO}$ ) e cianuro di etile ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ ) in 39 sorgenti corrispondenti a vari stadi evolutivi del processo di formazione stellare di alta massa, dalla fase prestellare a quella di regione ionizzata; le molecole sono state rivelate in 20 sorgenti. L'obiettivo è confrontare le abbondanze e le temperature tracciate ottenute per ogni molecola, evidenziando tra di esse eventuali correlazioni e dunque possibili *link* chimici/fisici legati a formazione comune, ed elaborarne una sequenza evolutiva all'interno del processo di formazione stellare.

Gli spettri delle sorgenti sono stati acquisiti con il radiotelescopio IRAM-30m e riguardano 9 finestre spettrali nelle bande centrate a 3, 2 e 0.9 mm in lunghezza d'onda, per un *range* in frequenza di circa 85 - 286 GHz. Le sorgenti osservate coprono un ampio *range* di distanze ( $\sim 1 - 9$  kpc) e luminosità ( $\sim 10^3 - 10^7 L_\odot$ ).

Negli spettri di ogni banda, una volta opportunamente ridotti, sono state ricercate ed analizzate le principali righe di emissione molecolari relative a transizioni rotazionali, e dal fit dei loro profili sono state ricavate densità di colonna e temperature di ogni molecola nelle varie sorgenti. L'analisi successiva è stata limitata ai dati ottenuti con gli spettri a 2 mm, più numerosi ed attendibili in quanto con maggior numero di righe molecolari rivelate; si è inoltre potuto evidenziare un rilevante effetto dell'assorbimento da polvere, proporzionale alla frequenza delle bande osservate, tale da rendere talvolta inconsistenti i valori di densità di colonna ricavati dai fit nelle singole bande a 3, 2 e 0.9 mm: si è trovato in tutti i casi  $N(3\text{mm}) > N(2\text{mm}) > N(0.9\text{mm})$ .

Temperature e abbondanze (calcolate a partire dalle densità di colonna) ottenute per ogni molecola sono state poi confrontate tra loro ed analizzate in relazione allo stadio evolutivo e alla luminosità della sorgente.

Le abbondanze di  $\text{CH}_3\text{OCHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  e  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$  risultano fortemente correlate; lo stesso vale per  $\text{NH}_2\text{CHO}$ , per cui i dati sono però meno indicativi causa le poche sorgenti con *detections*. Ciò potrebbe

suggerire l'esistenza di una relazione chimica tra le molecole, in particolare tra  $\text{CH}_3\text{OCHO}$  e  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ , risultate le più presenti e abbondanti nel sample analizzato: esse denotano infatti un rapporto di abbondanza pressochè costante (circa 1) su tutto il range di luminosità delle sorgenti. Le due molecole potrebbero ad esempio avere un precursore comune ( $\text{CH}_3\text{O}$ ), oppure formarsi l'una dall'altra, come proposto da Balucani et al. 2015. Un rapporto all'incirca costante ( $\sim 10$ ) si ha anche tra  $\text{CH}_3\text{OCHO}$  e  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ , il cui precursore potrebbe essere  $\text{CH}_3$ .

La stessa correlazione non si ritrova tra le temperature molecolari, nè tra temperatura e abbondanza delle singole molecole, le cui misure risultano quindi indipendenti.  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  e  $\text{NH}_2\text{CHO}$  tracciano in prevalenza temperature più basse ( $T < 150$  K) rispetto a  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$  e  $\text{CH}_3\text{OCHO}$  ( $T \geq 150$  K), associate quindi a gas caldo. Il regime termico complessivo è comunque lo stesso tra le quattro molecole, compatibile quindi con un contesto fisico comune di formazione.

Inoltre, le abbondanze di  $\text{CH}_3\text{OCHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  e  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$  si mostrano tendenzialmente crescenti al variare dello stadio evolutivo della sorgente (dalla fase protostellare HMPO a quella ionizzata UCHII, passando per quella intermedia) così come all'aumentare della luminosità, che ha lo stesso *trend* con le fasi evolutive; così non è invece per  $\text{NH}_2\text{CHO}$ , in cui le abbondanze tendono a diminuire. Nessun andamento evolutivo chiaro si rivela invece per le temperature, se non la conferma che, in ciascuno degli stadi, le temperature medie più alte sono tracciate da  $\text{CH}_3\text{OCHO}$  e  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ , e quelle più basse da  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  e  $\text{NH}_2\text{CHO}$ .

#### **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:**

- Balucani N., Ceccarelli C., Taquet V. 2015, MNRAS, **449**, L16–L20

## English Version

### **TITLE: “Comparative and evolutionary study of complex organic molecules in high-mass star forming regions”**

The study of complex organic molecules (COMs, composed of 6 or more atoms including carbon) in star forming molecular regions (clumps) is one of the most developing research fields in astrophysics. The detection of increasingly large and complex molecules, some of which are particularly interesting as they are considered part of biochemical processes, is allowing a better comprehension of mechanisms and conditions of formation and development of prebiotic molecules in the interstellar medium.

In this work we analyzed methyl formate ( $\text{CH}_3\text{OCHO}$ ), dimethyl ether ( $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ), formamide ( $\text{NH}_2\text{CHO}$ ) and ethyl cyanide ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ ) in 39 sources, representing several evolutionary stages in the process of high-mass star formation, from the pre-stellar phase to ionized regions. Molecules were detected in 20 sources. The aim was to compare abundances and temperatures obtained for each molecule, looking for possible correlations between them and therefore possible chemical/physical links in terms of common formation, and to build up an evolutionary sequence within the process of star formation.

Sources spectra were obtained with the IRAM-30m radiotelescope and cover 9 spectral windows within the bands centered at 3, 2 and 0.9 mm in wavelength, for a total frequency range of about 85-286 GHz. Observed sources cover a wide range in distance ( $\sim 1 - 9$  kpc) and luminosity ( $\sim 10^3 - 10^7 L_\odot$ ). The main molecular emission lines (rotational transitions) were searched in each of the three bands, and their profile was fitted to deduce molecular column densities and temperatures in every source they were detected in. The following analysis was performed on 2 mm data, because in this band more and stronger lines were detected; moreover, we observed a relevant dust absorption effect, proportional to the frequency of the bands, that caused inconsistencies between the column densities measured from the individual fits of the three bands: in all cases we found  $N(3\text{mm}) > N(2\text{mm}) > N(0.9\text{mm})$ .

Temperatures and abundances (obtained from the column densities) measured for each molecule were compared and analyzed as a function of evolutionary stage and luminosity of the sources.

We found a strong correlation between the abundances of  $\text{CH}_3\text{OCHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ , and  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$ ; this is also valid considering  $\text{NH}_2\text{CHO}$ , though its data are less significant as it was revealed only in a few sources. This correlation could suggest the existence of a chemical relation between the molecules, and in particular between  $\text{CH}_3\text{OCHO}$  and  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ , which proved to be the most present and abundant in our sample: they showed in fact a rather constant abundance ratios of about 1, over the whole range of source luminosity. These two molecules, for example, could share a common precursor ( $\text{CH}_3\text{O}$ ) or form one from another, as proposed by Balucani et al. 2015. An approximately constant ratio of about 10 was also found between  $\text{CH}_3\text{OCHO}$  and  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$  (possible precursor  $\text{CH}_3$ ).

We didn't find any correlation, instead, between molecular temperatures, nor between temperatures and molecular abundances, which therefore seem to be independent.  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  and  $\text{NH}_2\text{CHO}$  mostly trace lower temperatures ( $T < 150$  K), while  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$  and  $\text{CH}_3\text{OCHO}$  higher temperatures ( $T \geq 150$  K, warm gas). However, the overall T range is the same for all molecules, therefore compatible with a possible common formation.

Moreover, the abundance of  $\text{CH}_3\text{OCHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  and  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CN}$  proved to be increasing with both the luminosity of the sources and the progress of their evolutionary stage; for  $\text{NH}_2\text{CHO}$  the abundance decreases instead. No clear evolutionary trend is conversely found for average molecular temperatures.

**REFERENCES:** - Balucani N., Ceccarelli C., Taquet V. 2015, MNRAS, **449**, L16–L20