

Chiara Mininni

chiara.mininni@unifi.it

mininni@arcetri.astro.it

TUTOR: Francesco Fontani

Guido Risaliti

PROGETTO DI RICERCA

La formazione di stelle avviene nelle regioni più dense e fredde delle nubi nel mezzo interstellare, i dense cores, dove gli atomi, al riparo dalla radiazione UV proveniente dalle stelle già formate, sono uniti a formare molecole. L'evoluzione di queste regioni, e l'aumento della complessità chimica ad esse associata, in cui si passa da molecole semplici a specie via via più complesse, è uno degli aspetti più interessanti della ricerca astrofisica degli ultimi anni. Ad oggi le molecole osservate nel mezzo interstellare sono circa 200, dalle più semplici molecole biatomiche fino ad alcune molecole composte da 12 atomi.

Di particolare rilevanza sono le molecole prebiotiche: di queste fanno parte le COMs (Complex Organic Molecules: molecole composte da almeno 6 atomi e contenenti carbonio) di cui alcune costituiscono le basi per la formazione di amminoacidi (quindi delle proteine), monosaccaridi (gli zuccheri più semplici) e lipidi, ma anche molecole semplici come il PN ed il PO contenenti il fosforo, uno degli elementi fondamentali insieme a carbonio, ossigeno, idrogeno ed azoto per lo sviluppo della vita come la conosciamo sulla Terra. Il PO ha un ruolo fondamentale nella costituzione dello scheletro laterale fosfato-deossiribosio del DNA. Inoltre composti del fosforo come i fosfolipidi sono i costituenti principali delle membrane cellulari, ed infine l'energia nelle cellule è immagazzinata nelle molecole di ATP (adenosin trifosfato).

Lo studio di se e come queste molecole, ed i loro precursori, si siano formate già a partire dagli stadi iniziali del processo di formazione stellare è necessario per comprendere come la vita nell'Universo si sia sviluppata.

Nelle condizioni di bassa temperatura (10-100K) presenti nelle regioni di formazione stellare, queste molecole sono osservabili alle lunghezze d'onda millimetriche e submillimetriche, dove emettono grazie alle transizioni fra i livelli rotazionali, popolati anche a queste basse temperature.

In particolare le regioni in cui si stanno formando stelle di alta massa ($M > 8M_{\odot}$), chiamati Hot Molecular Cores (HMCs), si sono rivelate essere luoghi in cui la chimica è la più ricca osservata e con maggior contenuto di COMs. Infatti, la glicol aldeide (lo zucchero più semplice) ed il glicole etilenico (l'alcool zucchero più semplice) che sono tra le più grandi molecole finora identificate nel mezzo interstellare, sono state osservate entrambe in HMCs (Beltran et al 2009; Rivilla et al 2016). Questi HMCs sono stati anche le prime regioni di formazione stellare dove sono state rilevate molecole contenenti fosforo, come il PN o il PO (Fontani et al. 2016; Rivilla et al. 2016).

La molecola del PN è stata inoltre osservata con il telescopio IRAM 30m nella transizione a 3.2 mm in 8 regioni di formazione stellare di alta massa in differenti stadi evolutivi (Fontani et al. 2016).

Il mio lavoro di tesi si è focalizzato sull'analisi della molecola del PN, la cui chimica interstellare è ancora conosciuta pochissimo, in regioni di formazione di stelle massicce attraverso uno studio a multitransizione nella banda millimetrica. Il campione studiato ha compreso le sorgenti in cui il PN è stato precedentemente rivelato da Fontani et al. 2016 a cui sono stati aggiunti HMCs estremamente ricchi chimicamente.

Per le sorgenti in cui due o più righe sono state osservate, l'analisi tramite Boltzmann plot ha permesso di ricavare parametri fisici del gas come la temperatura e la densità di colonna totale del PN. Sebbene le temperature ricavate in media risultino estremamente basse (5-15K) e inducano a pensare che le righe siano sub-termicamente popolate, le densità di colonna mostrano una

correlazione se confrontate con i valori delle densità di colonna nelle stesse sorgenti per le molecole di SiO e SO, traccianti di shocks. Inoltre, in alcuni casi, i profili di riga del PN riproducono in maniera molto accurata quelli della molecola del SiO, ulteriore indizio a supporto dell'idea che PN ed SiO abbiano un'origine comune.

Nell'ambito del dottorato vorrei andare ad investigare la presenza di molecole contenenti fosforo e COMs in regioni di formazione di stelle massicce.

Per quanto riguarda le molecole contenenti fosforo vorrei estenderne lo studio ad un numero maggiore di regioni di formazione di stelle di alta massa, andando ad osservare sia regioni in cui dalla letteratura sono presenti fenomeni di shocks, sia regioni in cui questi non siano presenti.

Inizialmente l'identificazione delle sorgenti in cui queste molecole sono presenti può essere effettuata con osservazioni di singola riga del telescopio IRAM 30m, nella transizione più brillante della molecola.

La risoluzione angolare di IRAM 30m nel millimetrico e submillimetrico è al massimo ~ 10 arcsec, corrispondente ad una dimensione lineare di 0.25pc (5×10^4 UA) a distanze di 5 kpc, maggiori della dimensione delle sorgenti, per cui queste risultano non risolte. Quindi queste osservazioni sono utili soprattutto per selezionare buoni candidati, ovvero sorgenti con abbondanze di molecole contenenti P più elevate, che saranno successivamente analizzate da un punto di vista morfologico e cinematico con strumenti ad alta risoluzione spaziale come ALMA, che raggiunge risoluzioni 100 volte maggiore rispetto a quelle di IRAM 30m. Da queste osservazioni sarà possibile individuare precisamente la regione di emissione all'interno della sorgente e la relazione fra queste e gli shocks. Inoltre per progredire nella comprensione di come le molecole prebiotiche si possano essere originate nel mezzo interstellare e diventare parte del materiale di cui sono fatte le stelle, i pianeti, e le comete, è necessario continuare con la ricerca di molecole organiche complesse. Il gruppo di formazione stellare dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri ha iniziato una campagna osservativa di questi HMCs coi più potenti radiotelescopi disponibili nel rango (sub)millimetrico, ALMA nell'emisfero sud e IRAM nell'emisfero nord. Questa campagna ha fornito una grandissima quantità di dati di una qualità eccellente che permetterà di investigare la distribuzione spaziale, la cinematica, e la formazione di un gran numero di molecole organiche complesse. Di questa campagna fa parte, per esempio, il progetto approvato di una survey spettrale su tutta la banda ALMA a 3mm di uno degli HMCs più brillanti e ricchi da un punto di vista chimico.

Infine una ulteriore analisi da sviluppare nel percorso di dottorato è lo studio di possibili correlazioni fra le molecole organiche complesse osservate, e le molecole contenenti fosforo.

In sintesi, l'obiettivo finale della tesi di dottorato che vorrei intraprendere è lo studio della morfologia e cinematica di COMs e molecole contenenti P in HMCs e regioni di formazione di stelle di alta massa in fasi evolutive precedenti, per capire come queste si siano formate e quali siano le condizioni che portano ad una maggiore complessità chimica nell'ottica dello studio di come la vita si possa e si sia formata nell'Universo.