

Report MoU-Cineca / Progetto “INA17_C1A05”

Breve descrizione del progetto e dei primi risultati

Il progetto “INA17_C1A05 - The inner parsecs of our Galaxy: star formation and its environment” ha avute assegnate 2500000 ore di calcolo, di cui 1500000 ore su Marconi A1 e 1000000 ore su Marconi A2.

Il progetto è consistito nel “runnare” un set di simulazioni ad alta risoluzione (Figura 1) di nubi molecolari orbitanti un buco nero supermassiccio (SMBH) di massa pari a quella stimata per SgrA*, $M_{\text{SMBH}} = 4.3 \times 10^6 M_{\odot}$ (e.g., Gillessen, 2018), per studiare l’impatto delle condizioni iniziali sulla formazione e distribuzione di stelle nel centro della nostra Galassia. Le simulazioni sono state realizzate con il codice con adaptive mesh refinement (AMR) RAMSES (Teyssier, 2002). Più nello specifico, l’obiettivo è di comprendere se le stelle giovani già osservate possano nascere in streamer di gas che raggiungono SgrA* da distanze pari a decine di parsec o, successivamente, in un disco gravitazionalmente instabile, formato dall’accumulo di gas molecolare attorno al SMBH.

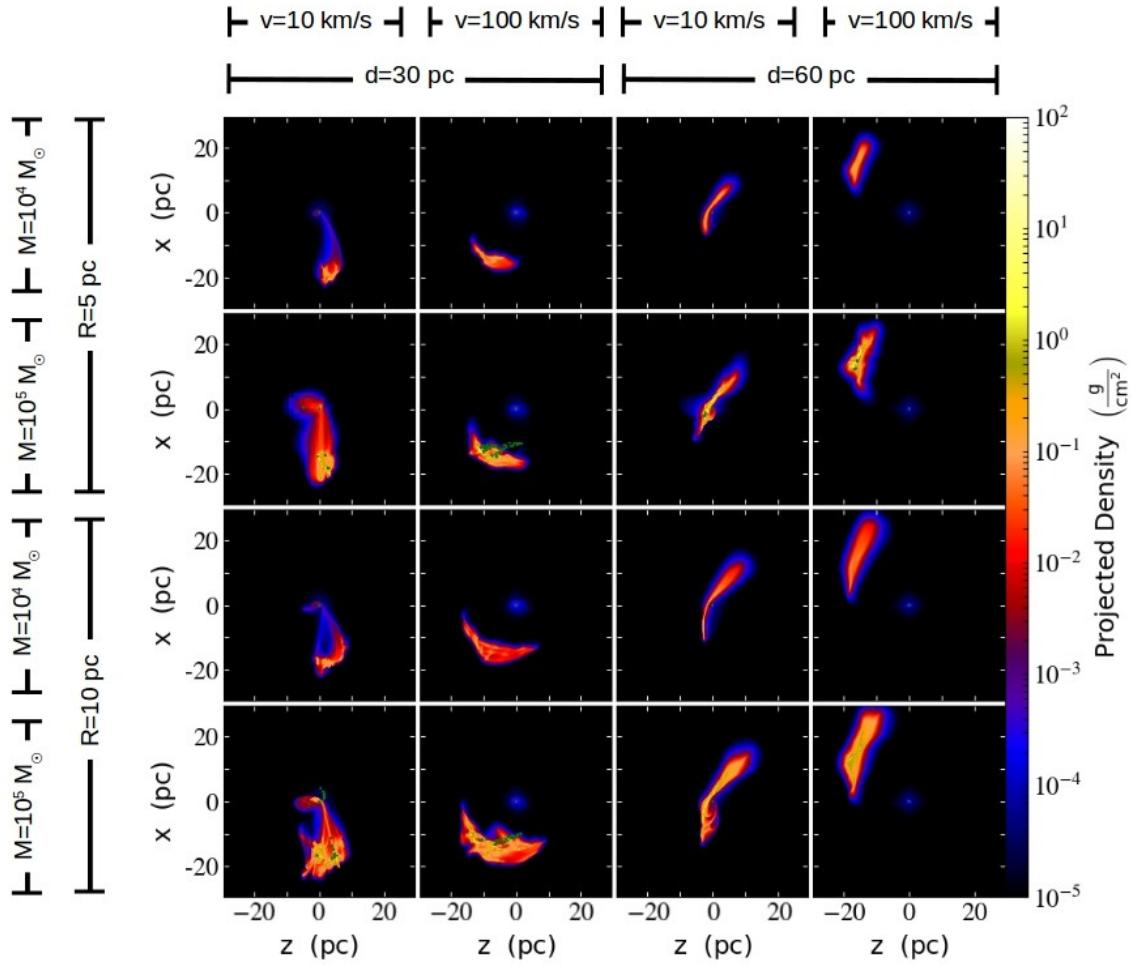


Fig. 1: set di simulazioni di nubi molecolari nel Centro Galattico

Le condizioni iniziali per il set di simulazioni consiste di 16 (2x2x2x2) nubi molecolari turbolente, con masse di 10^4 e $10^5 M_{\odot}$, raggio di 5 e 10 pc, distanza dal SMBH di 30 e 60 pc e velocità tangenziale di 10 e 100 km/s. Per questo studio parametrico, la termodinamica del gas molecolare è stata trattata con

una semplice equazione di stato isoterma. L'AMR è stato spinto per tutte le simulazioni fino a livello 14, corrispondente ad una risoluzione massima di 0.0061 pc.

La scalabilità di RAMSES su MARCONI-A1 e MARCONI-A2 si è rivelata molto peggiore rispetto a quanto stimato dai test forniti, a causa dell'algoritmo di formazione delle sink particles, necessario per lo studio della formazione stellare. Questo ha rallentato di gran lunga il run di ogni singola simulazione e ci ha forzato a ridurre la risoluzione massima di un livello, rispetto a quanto previsto nel proposal del progetto.

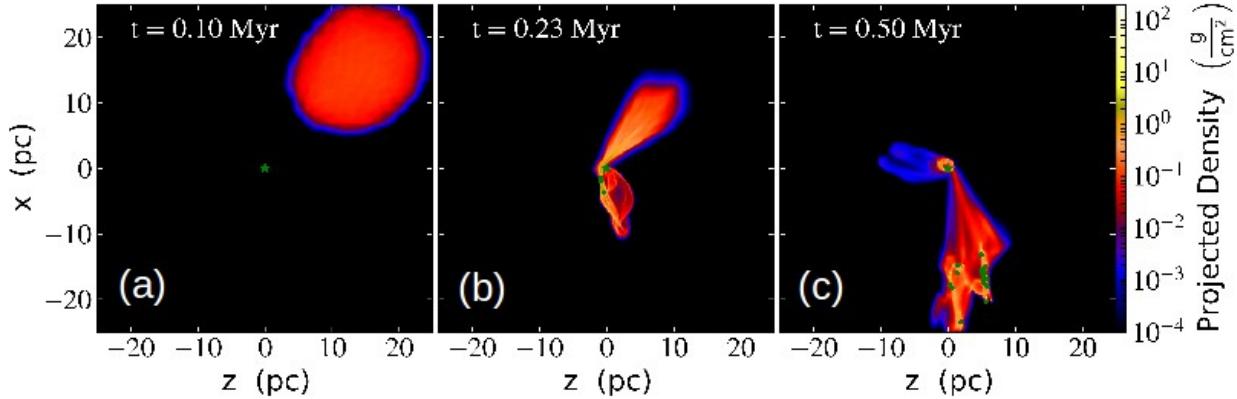


Fig. 2: evoluzione temporale di una delle nubi molecolari orbitanti il SMBH della Via Lattea; la stella in verde indica la posizione del SMBH, i pallini in verde, invece, rappresentano le sink particles prodotte nella simulazione.

L'analisi delle simulazioni è al momento in corso ed i primi risultati mostrano che la formazione stellare può avvenire in differenti episodi: alcune stelle si formano al primo passaggio al pericentro della nube, dove la compressione mareale da parte del SMBH è massima e la nube si allunga lungo la direzione dell'orbita e si assottiglia nella direzione perpendicolare (si vedano i pannelli (b) e (c) in Figura 2); una seconda popolazione di stelle si forma, invece, in maniera più continua a tempi successivi, nei picchi di densità generati dalla turbolenza (pannello (d) in Figura 2). La presenza di differenti popolazioni di stelle si riflette anche in differenti proprietà orbitali: infatti, il piano orbitale della prima popolazione è essenzialmente uguale a quello della nube, mentre il secondo tipo mostra uno spread nell'inclinazione delle orbite.

Il nostro best model riproduce alcune proprietà osservate nel gas molecolare attorno al centro della nostra Galassia. In particolare, quando la nube si trova ad approcciare il SMBH per il suo secondo passaggio al pericentro, questa ricorda l'attuale configurazione della nube molecolare +20 km/s e del circumnuclear ring (CNR) di gas molecolare a distanza di 1-2 pc dal SMBH. In particolare, la nube +20 km/s si trova a sud del CNR, è elongata in questa direzione con dimensioni di circa 15 pc x 7,5 pc (Ferrière, 2012) e mostra segni di interazione con questo anello di gas freddo (Liu et al., 2012, Takekawa et al., 2016). Inoltre, ci sono indicazioni di recente formazione stellare all'interno della nube (Lu et al., 2015), come nel caso del nostro best model (pannello (d) della Figura 2). Infine, l'anello di gas che si forma nella simulazione ha distanze comparabili a quelle del CNR ed è circondato da diversi piccoli streamers di gas, come nel caso delle osservazioni (e.g., Liu et al., 2012, Hsieh et al., 2017; Figura 3).

La scarsa scalabilità di RAMSES ha purtroppo impedito il run del nostro best model con l'aggiunta di radiazione dalle sink e chimica. Per questo motivo, abbiamo optato per runnare un altro set di simulazioni simili a quelle già descritte, ma per una coppia di buchi neri supermassivi. Lo scopo di tale

lavoro è investigare l'impatto di una nube molecolare sull'orbita dei due buchi neri, come già, in parte, studiato da Goicovic et al. (2016, 2017). Questo studio è particolarmente interessante, alla luce di future osservazioni di merging di buchi neri supermassivi tramite la missione LISA.

Per questo, abbiamo scelto una distanza iniziale di 10 pc, un raggio di 5 pc ed una massa di $5 \times 10^4 M_{\odot}$ e $5 \times 10^4 M_{\odot}$ per la nube ed abbiamo variato l'eccentricità dell'orbita (0, 0.3 e 0.7) ed il rapporto di massa ($M_1/M_2=1$, $1/3$, per $M_1=7.5 \times 10^5 M_{\odot}$) dei due buchi neri, per un totale di 12 simulazioni.

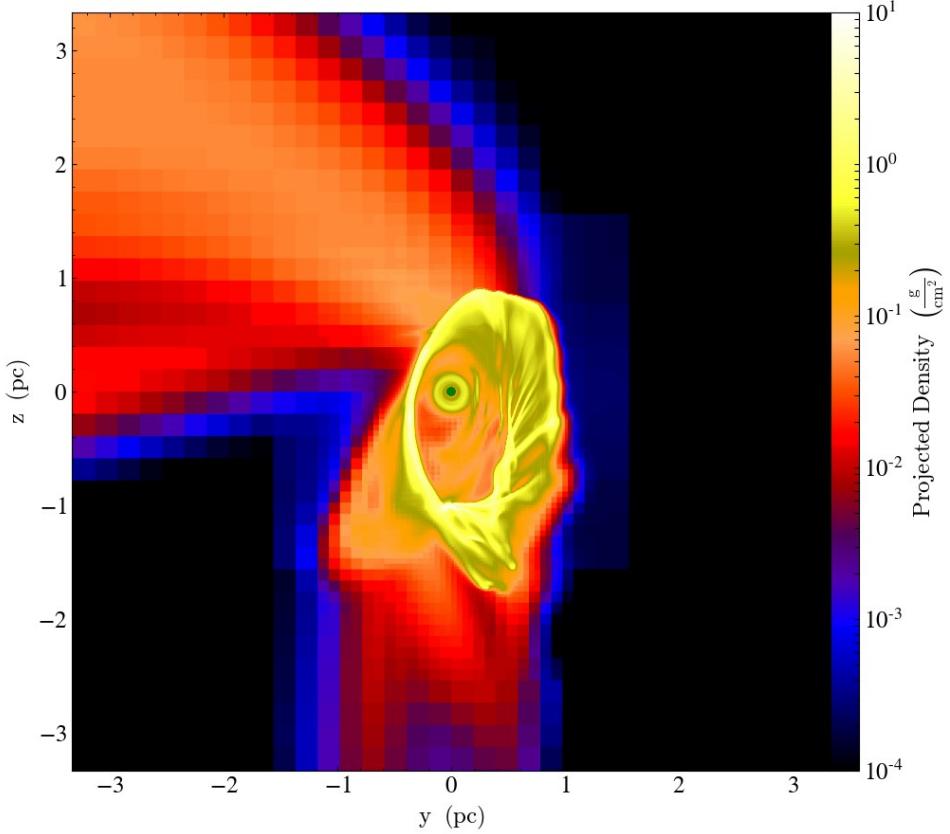


Fig. 3: Zoom-in sull'anello di gas molecolare formato nella simulazione a circa 1 pc di distanza dal SMBH.

Lo studio di questo ulteriore set di simulazioni è al momento in corso. Figura 4 mostra una proiezione in densità del gas attorno ai due buchi neri, per una delle simulazioni: come visibile, per questo snapshot 2 piccoli dischi di gas si sono formati attorno ad entrambi I buchi neri (la cui posizione è marcata dalle croci verde e magenta), mentre un anello di gas che circonda entrambi sta andando formandosi.

Date le difficoltà tecniche riscontrate, non abbiamo intenzione di applicare nell'immediato futuro per progetti più grandi (ISCRA/PRACE). Nonostante questo, una volta risolti alcuni problemi di scalabilità del codice, tale progetto potrà certamente essere utilizzato (ed era, effettivamente, nato) come guida per simulazioni che includano ulteriori ingredienti fisici, come la radiazione stellare e la chimica. Tali simulazioni richiederanno un gran numero di ore di calcolo e dovranno verosimilmente passare per progetti di portata maggiore, rispetto a questo.

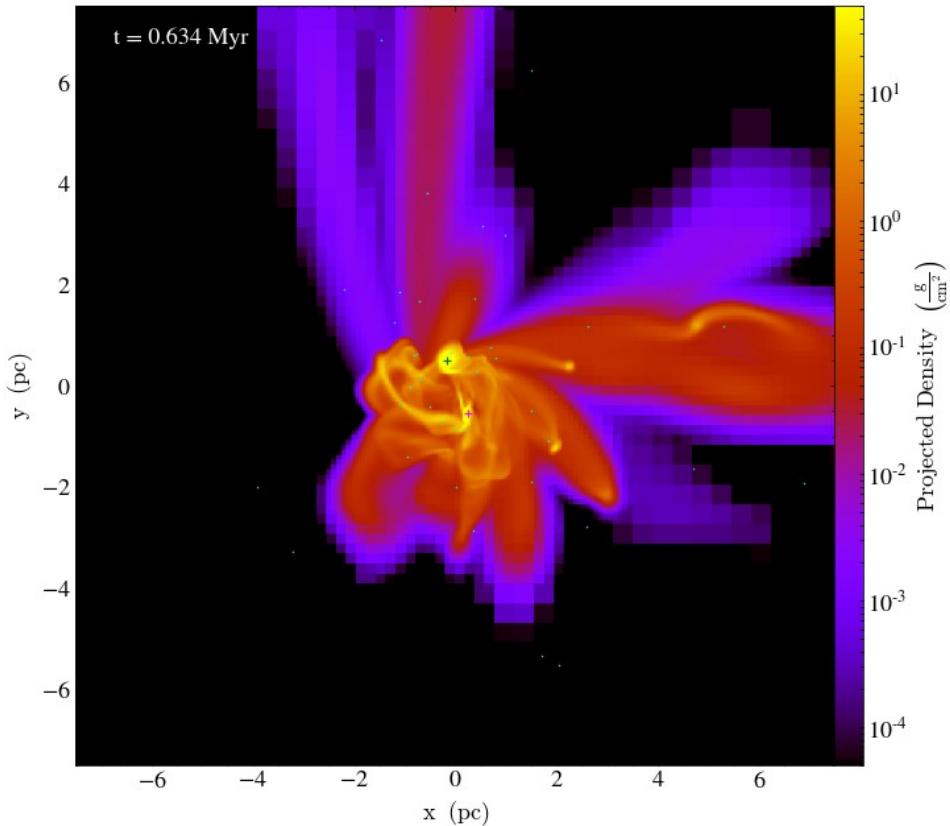


Fig. 4: Zoom-in sui 2 buchi neri supermassivi, in una delle nostre simulazioni.

Bibliografia

- Ballone, A.; Mapelli, M.; Trani, A. A.; Bortolas, E.: “Molecular clouds plunging into SgrA*: I. A common origin for the CND and the +20 km/s cloud?”, in preparation
- Ballone, A.; Mapelli, M.; Trani, A. A.; Bortolas, E.: “Molecular clouds plunging into SgrA*: II. Star formation in the Galactic Center”, in preparation
- Bortolas, E.; Ballone, A.; Mapelli, M.: “The impact of infalling molecular clouds on the orbit of binary supermassive black holes”, in preparation