

# La relazione ad alto redshift tra i buchi neri supermassicci e le loro galassie ospiti osservate da ALMA

Candidato: **Antonio Pensabene**

Relatore: **Prof. Alessandro Marconi** ([alessandro.marconi@unifi.it](mailto:alessandro.marconi@unifi.it))

## Sommario

Per la prima volta in assoluto, in questo lavoro di tesi, è stata stimata la massa dinamica di un campione di galassie ospiti di quasar ad alto redshift ( $2 < z < 7$ ) osservate dall'*Atacama Large Millimeter and Sub-Millimeter Array* (ALMA). Le misure sono state portate a termine effettuando una modellizzazione cinematica del campo di velocità lungo la linea di vista del gas freddo, tracciato dall'emissione in riga del [CII] a  $158\mu\text{m}$  e dalle righe rotazionali del CO. Successivamente, abbiamo messo in relazione le nostre misure di massa dinamica delle galassie,  $M_{gal,dyn}$ , con le masse dei relativi buchi neri (BH),  $M_{BH}$ , ottenute dalla letteratura e abbiamo studiato il rapporto  $\Gamma = M_{BH}/M_{gal,dyn}$  in un ampio intervallo di redshift.

La relazione tra i buchi neri e le loro galassie ospiti è il risultato del bilancio tra l'attività AGN, che tende a espellere il gas del *bulge* galattico tramite *outflow*, e l'attrazione gravitazionale della galassia che tende a mantenere legato il sistema. Nel contesto di una co-evoluzione BH-galassia, lo studio della relazione  $M_{BH} - M_{gal}$  e  $\Gamma - z$ , è importante al fine di stabilire quali siano i tempi scala relativi di crescita del buco nero e formazione stellare in modo da validare, correggere o escludere i modelli semi-analitici di formazione ed evoluzione delle galassie. Risultati precedenti mostrano un'evoluzione della relazione  $M_{BH} - M_{gal}$  al variare del redshift, ovvero, durante l'accrescimento competitivo di materia dall'alone galattico, la crescita del buco nero anticiperebbe quella della massa galattica. Tuttavia, tutti questi risultati sono affetti da alcuni effetti osservativi. Le galassie rilevate ad alto redshift, sono i quasar più brillanti i quali ospitano i buchi neri più massicci. In queste sorgenti, l'emissione proveniente dalle regioni centrali, "nasconde" quella dell'intera galassia e sono necessarie osservazioni ad alta risoluzione angolare per disaccoppiare le due componenti. Le stime di  $M_{gal}$  che sono state utilizzate per studiare la relazione  $M_{BH} - M_{gal}$  ad alto redshift, sono ottenute con metodi fotometrici che tracciano il solo contenuto di massa in stelle della galassia. Tali metodi fanno uso di parametri come la storia di formazione stellare, l'età delle stelle, l'abbondanza di polvere e la metallicità che sono difficili da misurare direttamente nelle galassie lontane e sono anche degeneri tra loro. Inoltre, le galassie primordiali potrebbero non aver convertito una grossa frazione di gas in stelle. D'altra parte è naturale pensare che ciò che determina la capacità della galassia di trattenere il proprio gas sotto l'effetto dell'attività AGN, sia la sua massa dinamica che è associata all'intero potenziale gravitazionale. Sappiamo che solo il 10% di tutti gli AGN conosciuti ha una distribuzione spettrale di energia che si estende nella banda radio. Quindi, l'utilizzo della banda FIR/sub-mm con ALMA permette di ottenere immagini in continuo e in riga non affette dall'emissione centrale. Inoltre, questo radiointerferometro che da poco è diventato pienamente operativo, ha apportato un'enorme miglioramento qualitativo delle osservazioni in termini di sensibilità e risoluzione angolare. Con ALMA, sfruttando l'emissione in riga del mezzo interstellare ionizzato e/o molecolare tracciato dall'emissione atomica di struttura fine del [CII] e dalle righe rotazionali del CO, possiamo risolvere spazialmente la cinematica del gas freddo nelle galassie ad alto redshift. Dalla modellizzazione della cinematica è possibile determinare il potenziale gravitazionale che governa il moto e stimare la massa dinamica delle galassie. A questo scopo siamo partiti dai dati grezzi di un campione di  $\sim 30$  galassie a redshift  $2 < z < 7$ , e con il software C.A.S.A. (*Common Astronomy Software Application*), abbiamo convertito i valori di visibilità in uscita dal radiointerferometro in immagini di brillantezza specifica della sorgente. Successivamente, abbiamo creato una procedura implementata in linguaggio di programmazione PYTHON con lo scopo di effettuare il *fit* dello spettro contenuto in *pixel*. Questo ha consentito di estrarre le informazioni necessarie per costruire la mappa bidimensionale di flusso integrato sulla riga di emissione del gas, di velocità del materiale lungo la linea di vista, e di dispersione di velocità. Abbiamo poi sviluppato un modello cinematico di disco sottile con profilo di brillantezza esponenziale, che tiene conto degli effetti di proiezione geometrica e degli effetti strumentali (e.g., convoluzione con la PSF del sistema). Abbiamo poi effettuato il *fit* delle nostre mappe. Dal *fit* della mappa di flusso integrato abbiamo ottenuto una stima del raggio scala del profilo di brillantezza e dallo spettro totale una stima del redshift della sorgente. Utilizzando questi valori nella legge di velocità del gas, abbiamo potuto stimare la massa dinamica  $M_{gal,dyn}$  dal *fit* del campo di velocità lungo la linea di vista. Infine abbiamo messo in relazione le nostre misure con le stime di  $M_{BH}$  ottenute in letteratura e abbiamo tracciato le relazioni  $M_{BH} - M_{gal,dyn}$  e  $\Gamma - z$ . I nostri risultati confermano l'evoluzione di  $M_{BH} - M_{gal}$  rispetto alla relazione valida per le galassie locali che era già stata osservata in lavori precedenti. Inoltre, per la prima volta abbiamo determinato accuratamente i valori di  $\Gamma(z)$  in ampio un'intervallo di redshift all'interno del quale non se ne conosceva l'andamento e abbiamo ottenuto la prima evidenza sperimentale della diminuzione del rapporto  $\Gamma$  per  $z \gtrsim 6$ . Con questo lavoro abbiamo anche dimostrato che grazie ad ALMA, una stima della massa dinamica delle galassie, è possibile anche per sorgenti a redshift elevato.