

Giovanni Cresci

Blowin' in the wind: feedback positivo e negativo in un Quasar ad alto redshift

Blowin' in the wind: both 'negative' and 'positive' feedback in an obscured high-z Quasar

INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Sommario. Osservazioni di un Quasar ad alto redshift con il telescopio VLT e lo spettrografo SINFONI permettono per la prima volta di studiare gli effetti sulla formazione stellare nella galassia ospite dell'espulsione di gas da parte del buco nero centrale.

Parole chiave. Evoluzione galassie, Quasar, AGN feedback, Integral Field Spectroscopy

Attualmente si ritiene che i buchi neri in accrescimento al centro delle galassie (chiamati Nuclei Galattici Attivi, AGN, o Quasar se particolarmente luminosi) abbiano una profonda influenza sull'evoluzione delle galassie, nonostante la loro piccola dimensione rispetto a quella della galassia ospite. La presenza di un nesso causale fra AGN ed evoluzione delle galassie è suggerita dalla stretta correlazione tra la massa del buco nero e quella della galassia ospite. In particolare, l'AGN è in grado di accelerare materiale fuori dalla galassia e di spazzare via la maggior parte del gas circostante, rimuovendo il combustibile necessario per formare ulteriori stelle e far accrescere la massa del buco nero. Questo 'feedback negativo' potrebbe

Abstract. Observations of a high redshift Quasar made with the SINFONI spectrograph at the VLT-ESO telescope reveal for the first time the effects of gas ejection from the central massive black hole on the star-formation process in the host galaxy.

Keywords. Galaxy Evolution, Quasar, AGN feedback, Integral Field Spectroscopy

Accreting super-massive black holes at the center of galaxies (referred to as Active Galactic Nuclei or, if particularly energetic, Quasars) are thought to have a significant influence on galaxy evolution, despite their small size in comparison to that of their host galaxy. A causal link between AGN and galaxy evolution is, for example, suggested by the close correlation between the black hole mass and the host galaxy mass. In detail, AGN can drive outflows that are expected to sweep away most of the gas in their host galaxy, hence depriving the galaxy of the fuel for further star formation and black hole accretion. This 'negative feedback' is



essere il meccanismo responsabile della mancanza di formazione stellare recente nelle galassie ellittiche, nonché l'agente che impedisce alle galassie di crescere eccessivamente, spiegando così l'assenza di galassie molto massicce in confronto alle predizioni dei modelli teorici di formazione delle galassie.

Oltre a questo 'feedback negativo' alcuni modelli prevedono che l'AGN fornisca un 'feedback positivo', inducendo piuttosto che sopprimendo la formazione stellare grazie all'aumento della pressione nel mezzo interstellare. Questo 'feedback positivo' potrebbe spiegare la correlazione osservata tra la formazione di stelle nelle zone nucleari e la luminosità dell'AGN, la relazione fra la massa del buco nero e quella della galassia e infine l'aumento della formazione di nuove stelle ad alto redshift quando anche l'accrescimento sul buco nero era maggiore. Trovare però evidenze osservative di questo 'feedback positivo' in azione è ancora una delle maggiori sfide dell'astronomia osservativa extragalattica.

Un team di astronomi guidato dall'autore e che include Alessandro Marconi (Università di Firenze) e Filippo Mannucci (Osservatorio di Arcetri) ha recentemente presentato uno studio dettagliato di un Quasar a redshift $z \sim 1.6$ (quando l'età dell'universo era di 4 miliardi di anni, il 30% di quella attuale) brillante nei raggi X, ma oscurato dalla polvere nell'ottico. Date le sue proprietà ci si aspettava che il Quasar fosse nella fase iniziale di attività di AGN, ancora circondato da polvere e che di conseguenza rappresentasse un caso ideale per studiare gli effetti del 'feedback' nel suo periodo di massimo impatto sulla galassia ospite.

Il Quasar (XID2028) è stato osservato con lo spettrografo infrarosso 'integral field' SINFONI al telescopio VLT/ESO. Lo strumento è capace di ottenere simul-

often invoked as the main mechanism responsible for the red colors of elliptical galaxies and in preventing galaxies from overgrowing, thus explaining the dearth of very massive galaxies compared to what would be expected from hierarchical galaxy formation models.

In addition to this negative feedback, some models also require AGN to provide a 'positive' feedback, inducing star formation rather than suppressing it by increasing the gas pressure in the interstellar medium. Such positive feedback could explain the observed correlation between nuclear star-formation activity and AGN luminosity, the black-hole mass - galaxy mass scaling relation and the enhanced star-formation rate at high redshift concurrent with a higher black hole accretion. However, finding observational evidence of the effect of such AGN negative and positive feedback is still one of the main challenges in extragalactic astronomy.

A team of astronomers led by Giovanni Cresci (INAF-Arcetri Observatory) and including Alessandro Marconi (University of Florence) and Filippo Mannucci (INAF-Arcetri Observatory) has recently published a detailed study of an X-ray bright but optically-obscured QSO at redshift $z \sim 1.6$, the epoch in which the effects of AGN feedback are expected to be more significant for galaxy evolution. Given its properties, the Quasar was expected to be still in the dust-enshrouded phase typical of the first phases of AGN activity, and therefore to represent an ideal case for studying feedback at its maximum.

The Quasar (XID2028) was observed with the near-infrared integral field spectrograph SINFONI at the VLT, which is capable of obtaining simultaneously the spectra of small regions of sky of $0.125'' \times 0.125''$, making it possible to study the physical properties of the different

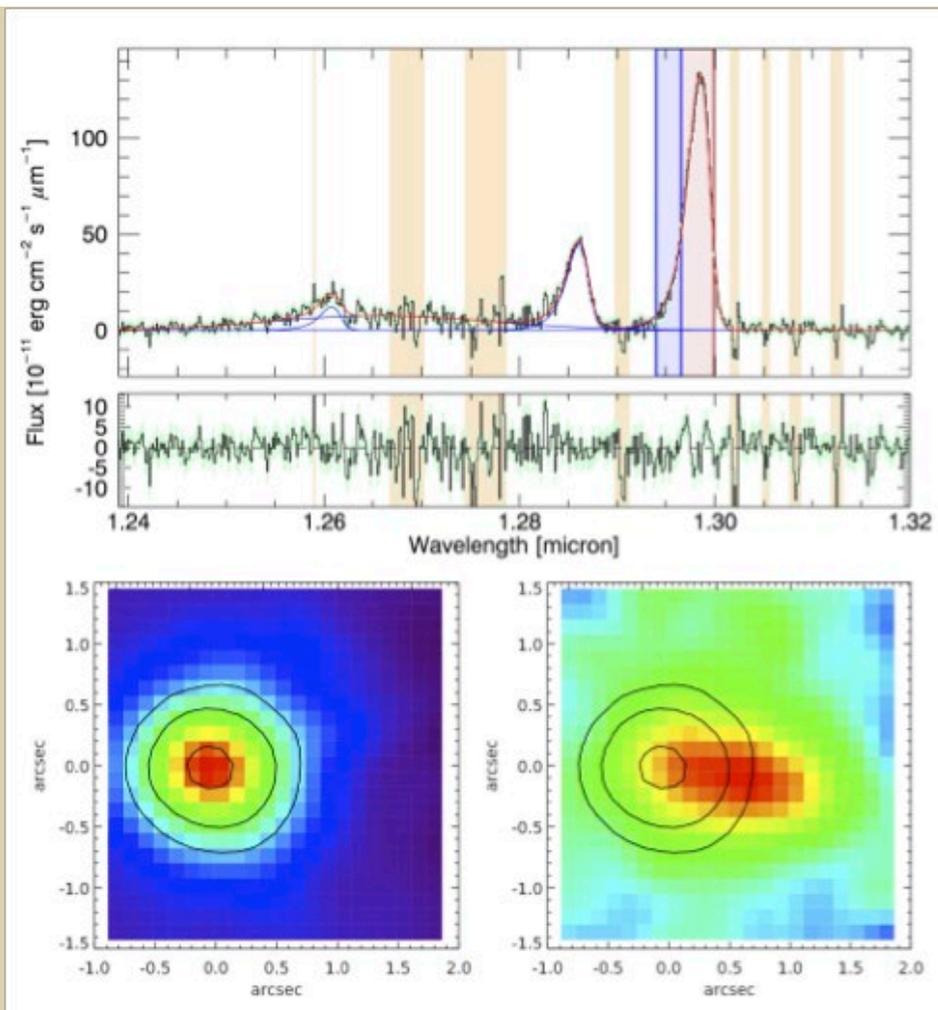


Figura 1. In alto: Spettro SINFONI in banda J della sorgente XID2028, integrato in una regione di 1"x1" intorno al QSO. Lo spettro osservato è mostrato in nero, mentre il fit delle righe di emissione principali (H β larga per la presenza della Broad Line Region del Quasar, H β , [OIII]5007,4959Å) sono mostrati in blu e la loro somma in rosso. I residui del fit, ovvero la differenza fra lo spettro osservato e il fit, sono mostrati nel pannello inferiore. Le regioni marcate sono state escluse dal fit a causa della presenza di righe di cielo. In basso: Mappe in [OIII]5007Å ottenute integrando i canali corrispondenti al centro della riga (marcato in rosso nel pannello superiore) e all'ala blu (in blu). I contorni del centro della riga, che identificano la posizione del Quasar, sono mostrati in nero in entrambi i pannelli. Nel pannello di sinistra è evidente l'ala ad alta velocità dovuta alla presenza di un getto di materia che si estende per 1.5" dal Quasar.

Figure 1. Upper panels: J-band SINFONI spectrum of the source XID2028, integrated in a region of 1"x1" around the QSO. The observed spectrum is shown in black, the different broken power-law components in the fit for each line (H α large due to the Broad Line Region, H α , [OIII]4959,5007Å) are shown in blue, while their sum is shown in red. The residuals of the fit, i.e. the difference between the observed and the model spectrum, are shown below. The shaded regions show the location of sky lines, which were excluded from the fit.

Lower panels: [OIII]5007Å channel maps obtained by integrating the continuum-subtracted SINFONI datacube on the line core (1.296< λ <1.300 μ m, left, see red box in the upper panel) and on the blue wing (1.294< λ <1.296 μ m, right, see blue box in the upper panel). The contours on the line core, marking the position of the central QSO, are shown in black in both panels. Clearly shown in the left panel is the blue high-velocity wing due to the outflow, extending up to 1.5" from the QSO position.

taneamente lo spettro di piccole regioni di cielo ($0.125'' \times 0.125''$), permettendo di studiare le proprietà fisiche delle differenti regioni della galassia ospite. Lo spettro del Quasar in Fig. 1 mostra la riga di emissione dell'[OIII]5007Å con un'ala blu molto asimmetrica, segno della presenza di gas ad alta velocità in allontanamento dal Quasar. L'immagine ottenuta integrando lo spettro sull'ala blu della riga (visibile nel pannello in basso a destra) mostra che la coda blu si estende per $1.5''$, corrispondenti a 13 kpc proiettati, dalla posizione del Quasar (cfr. pannello in basso a sinistra), e raggiunge velocità fino a 1500 km/s lungo la linea di vista. Si calcola che la quantità di massa espulsa è di circa $1000 M_{\text{sole}}/\text{anno}$ più di tre volte il tasso di formazione stellare nella galassia, confermando così che l'outflow osservato non può essere alimentato da stelle giovani distribuite in tutta la galassia, ma dalla presenza del Quasar.

Inoltre si sono potuti studiare gli effetti di un outflow di materia così energetico sulla galassia ospite, usando sia dati SINFONI in banda H+K che include la riga di emissione H α che immagini ACS/HST nella banda U rest-frame. Entrambi questi traccianti campionano la distribuzione della formazione stellare nella galassia e dimostrano che l'outflow si trova al centro di una grande cavità (vedi Fig. 2). Ciò suggerisce uno scenario in cui il potente outflow rimuove il gas dalla galassia ospite lungo il suo percorso, impedisce la formazione di nuove stelle ('feedback negativo'), ma allo stesso tempo induce la formazione di stelle comprimendo le nubi di gas ai suoi bordi ('feedback positivo').

XID2028 è la prima osservazione diretta di formazione stellare indotta in un AGN non dominato da potenti getti radio e il primo esempio dei due tipi

regions of the Quasar host galaxy. The spectrum of the Quasar (Fig. 1) reveals a very asymmetric and blue-shifted shape of the [OIII] emission lines: this is evidence of the presence of a high-velocity gas outflowing from the QSO. The image obtained integrating the spectra over the blue wing of the [OIII]5007Å line (lower right panel) shows that the blue high velocity wing extends up to $1.5''$, i.e. 13 projected kpc from the QSO position (lower left panel), and reaches velocities up to 1500 km/s towards the line of sight. The estimated mass outflow rate is $\sim 1000 M(\text{sun})/\text{yr}$, more than three times the star formation rate in the galaxy, confirming that the outflow observed cannot be sustained by the young stars in the galaxy, but by the presence of the Quasar.

Moreover, it was possible to study the effects of such energetic outflow on the host galaxy, using both H+K band SINFONI observations sampling the H α line and HST-ACS imaging in the rest frame U band. Tracing the star formation in the host galaxy, both the narrow component of H α emission line map and the rest-frame U-band ACS imaging show that the outflow position lies in the center of a cavity in the star-forming regions of the host galaxy (Fig. 2). This suggests a scenario in which the powerful outflow is removing the gas from the host galaxy ('negative feedback'), but is also triggering star formation through an outflow-driven shock which drives turbulent compression of the gas clouds especially at the outflow edges ('positive feedback').

XID2028 represents the first direct detection of outflow-induced star formation in a radio-quiet AGN, as well as the first example of both types of feedback simultaneously at work in the same galaxy. The data presented demonstrate that both 'positive' and 'negative' AGN

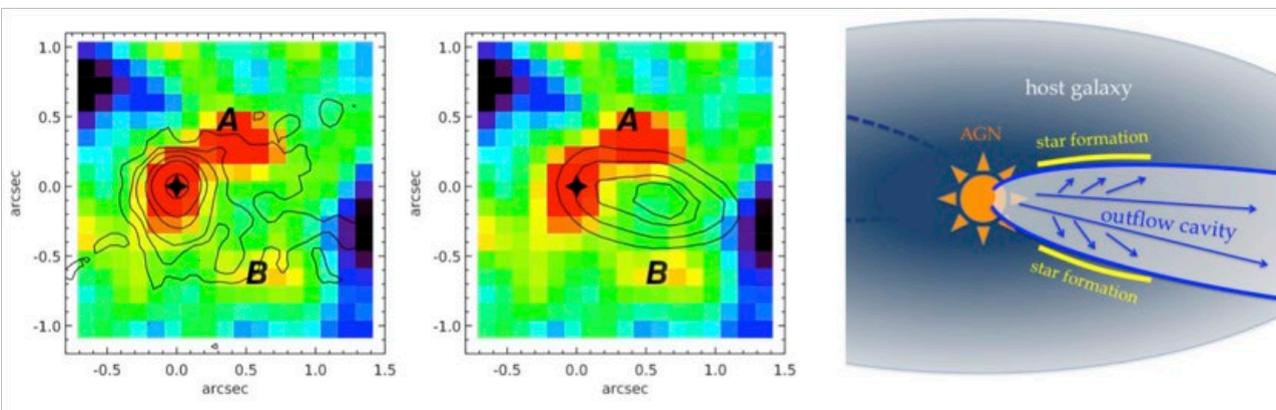


Figura 2. Mappe nella componente stretta dell'H α con sovrapposti i contorni dell'emissione rest-frame U-band osservata da HST (a sinistra) e i contorni dell'outflow in Figura 1 (nel centro). L'outflow si trova esattamente nella cavità tra il nucleo (marcato da una stella) e le due regioni di formazione stellare A e B. Il pannello di destra mostra uno schema dello scenario proposto nel quale il potente getto che si origina dall'AGN rimuove il gas lungo il suo cammino producendo una cavità nella formazione stellare, ma allo stesso tempo innesca la formazione di nuove stelle ai suoi bordi grazie alla compressione del gas.

Figure 2. Narrow H α emission map with superposed ACS U-band contours (left) and the contours of the outflow from Figure 1 (middle). The outflow lies in the cavity between the nucleus (marked with a diamond) and the two star-forming regions (A and B). The right panel shows a schematic view of the proposed scenario in which the powerful outflow originating from the AGN removes the gas from the host galaxy producing a cavity without star formation, while at the same time triggering star formation at the edges via turbulent compression of the gas.

feedback are crucial ingredients to shape the evolution of galaxies, by regulating the star formation in the host and driving the black hole-galaxy coevolution. The results show that these mechanisms are in operation, not only in powerful radio galaxies with relativistic jets, but also in less extreme objects during an obscured QSO phase that is thought to be a common step in the evolutionary sequence of star-forming galaxies.

Bibliography

G. Cresci et al. (2015), *Astrophysical Journal*, 779, 82.

Currently *Giovanni Cresci* is Research Scientist at the INAF-Arcetri Astrophysical Observatory. He has worked at the Max Plank Institut fuer Extraterrestrische Physik in Munich-Germany and at the INAF-Astronomical Observatory of Bologna. He has published over 60 research articles in leading refereed journals, mainly on the chemical and dynamical evolution of galaxies and on the effects of the AGNs on the host galaxies.

di feedback in azione nello stesso oggetto. I dati presentati dimostrano che sia il feedback positivo che quello negativo sono ingredienti cruciali nell'evoluzione delle galassie che regolano la formazione stellare e guidano la co-evoluzione fra galassia e buco nero. I risultati mostrano anche che questi meccanismi sono in azione non solo in potenti galassie con getti radio, ma anche in oggetti meno estremi durante la fase oscurata di un Quasar, che si pensa sia una fase comune nell'evoluzione di una galassia.

Bibliografia

G. Cresci et al. (2015) "Blowin' in the wind: both 'negative' and 'positive' feedback in an obscured high-*z* Quasar", *Astrophysical Journal*, 799, 82.

Giovanni Cresci. Assegnista di Ricerca presso l'INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri, dopo aver lavorato al Max Planck Institut fuer Extraterrestrische Physik in Germania e all'Osservatorio di Bologna. Ha pubblicato più di 60 lavori sulle maggiori riviste con *referee*, principalmente sull'evoluzione chimica e dinamica delle galassie e sugli effetti degli AGN sulle galassie ospiti.