

GAIA-DR3: EL PRIMER CATALOGO

El 13 de junio de 2022 se publicó la tercera entrega pública de datos de Gaia, incluyendo no sólo los datos de parámetros astrométricos y físicos, sino también catálogos de diferentes objetos variables. En particular el primer catálogo de Núcleos Galácticos Activos (AGN). Un catálogo con alrededor de un millón de AGN variables de diferentes tipos, cuya selección se ha basado en la utilización de datos multibanda de Gaia, y cuyas series temporales y algunos parámetros que caracterizan la variabilidad han sido obtenidos. Destacamos que alrededor de 21000 objetos son nuevas identificaciones como objetos variables.



Maria Isabel Carnerero Martin
INAF-Osservatorio Astrofisico di Torino
maria.carnerero@inaf.it

Ruth Carballo
Universidad de Cantabria
carballor@unican.es

Los Núcleos Activos de Galaxias (AGN por sus siglas en inglés) se caracterizan por liberar gran cantidad de energía proveniente de la parte central de la galaxia. El mecanismo de generación de la misma es debido al acrecimiento de material en un disco que se forma alrededor de un agujero negro supermasivo (SMBH), cuya masa es superior a un millón de masas solares. Los AGN pueden ser de diferentes tipos según el criterio que se use para su clasificación y engloban las galaxias tipo Seyfert y los cuásares, más luminosos. Así pues existe una fracción de ellos que son fuertes emisores de ondas de radio y que muestran la emisión de dos chorros de plasma a velocidades relativistas, y en una dirección que se supone perpendicular al disco de acrecimiento. Cuando esta dirección está próxima a la línea de visión aparecen efectos tales como amplificación Doppler y acortamiento de la escala temporal. Estas características definen una clase de objetos llamados blazars, que se clasifican en dos tipos: los BL Lacs, caracterizados por no presentar rasgos espectrales en su emisión en el rango visible y los radio cuásares de espectro plano (FSRQs), que suelen mostrar intensas líneas de emisión en ese rango.

El flujo de la mayoría de los AGN presenta variabilidad a algún nivel, con diferentes escalas de tiempo y amplitudes. En general, la emisión del continuo óptico del AGN, dominada por la radiación térmica proveniente del disco de acreción, muestra una variabilidad suave en escalas de tiempo de meses a años. Por el contrario, la fuente predominante de emisión en el rango visible en los blazars más activos es la radiación no térmica (sincrotrón) del chorro relativista, donde por efecto Doppler aumenta la amplitud de la variabilidad y se reduce su escala temporal, observándose incluso cambios de flujo en escalas de pocas horas. En objetos cercanos, con bajo desplazamiento al rojo, la emisión de la galaxia anfitriona puede contribuir de manera importante, o incluso dominar, la emisión visible, reduciendo la amplitud de la variabilidad.

SELECCIÓN DE LOS OBJETOS DE NUESTRO CATÁLOGO

Nuestro objetivo era seleccionar una muestra de candidatos AGN variables lo más pura posible. La línea de procesado para la clasificación de objetos variables nos proporcionó una muestra inicial de

más de 100 millones de fuentes, y el primer requisito que impusimos para su consideración fue la presencia de al menos 20 puntos en la curva de luz de la banda G. Seguidamente determinamos para cada fuente cinco parámetros relacionados con la amplitud y la escala temporal de las variaciones, nuevos, de la literatura, o adaptados de la literatura. Estos parámetros son la fracción de variabilidad, los parámetros de variabilidad 'qso_var' y 'non_qso_var' de Butler & Bloom (Butler, N. R. & Bloom, J. S. 2011, AJ, 141, 93) que permiten distinguir los cuásares de las estrellas, la pendiente de la función de estructura, que informa de la escala de tiempo de la variabilidad, y finalmente el 'ranking de pertenencia', que ordena las fuentes respecto de su probabilidad de tratarse de un AGN. Pudimos determinar estos parámetros para 34 millones de fuentes, siendo éstas las que pasaron a la siguiente fase. Los valores se encuentran publicados en la tabla Gaia-DR3 vari_agn.

El procedimiento de selección continuó con la aplicación de una secuencia de filtros basados en datos de Gaia, tomando como referencia los objetos del Gaia Celestial Reference Frame 3 (Gaia-CRF3, Klioner, S. A. 2022, A&A, in press). La meta en este paso fue que al tiempo que la muestra de AGN variable fuera lo más pura posible, la pérdida de objetos incluidos en Gaia-CRF3 fuera mínima. Adoptamos además una serie de filtros para reducir la posible contaminación por estrellas o galaxias. Concretamente filtramos respecto de la pendiente de la función de estructura, de los parámetros de Butler & Bloom, del diagrama 'abbe' frente 'ruwe' (parametro de variabilidad en curvas de luz 'abbe' frente a parametro de calidad astrométrica 'ruwe', ver Documentacion, <https://gea.esac.esa.int/archive/documentation/GDR3/index.html>), de los índices de color en el diagrama G-G_{RP} frente a G_{BP}-G y de los movimientos propios y paralaje. Para reducir la clasificación errónea como AGN en campos con una alta densidad de fuentes, como el Plano Galáctico y las Nubes de Magallanes, establecimos una restricción respecto a la máxima densidad de fuentes en el entorno de cada candidato. También eliminamos los objetos con indicios de que su variabilidad fuera artificialmente inducida, debido al efecto del rastreo a distintos ángulos de fuentes extensas. Tanto en las galaxias normales como en las galaxias anfitrionas de los AGN Gaia puede

inducir este efecto. Finalmente realizamos una última selección, para asegurar un grado más la reducción de posible contaminación, usando el parámetro de probabilidad de variabilidad de Gaia.

Después de todo este proceso llegamos a nuestra lista final de 872228 objetos candidatos a AGN variables (denominada GLEAN, Gaia variable AgN). 150017 de ellos no están incluidos en Gaia-CRF3 (CANOE, CANDIDATES TO EXPLORE). La muestra incluye además casi 3000 objetos variables que debido a sus propiedades peculiares (blazares, AGN con lentes y los AGN más brillantes conocidos, todos confirmados de la literatura) no pasaron algún paso de la selección, pero que se agregaron a la muestra final por su interés.

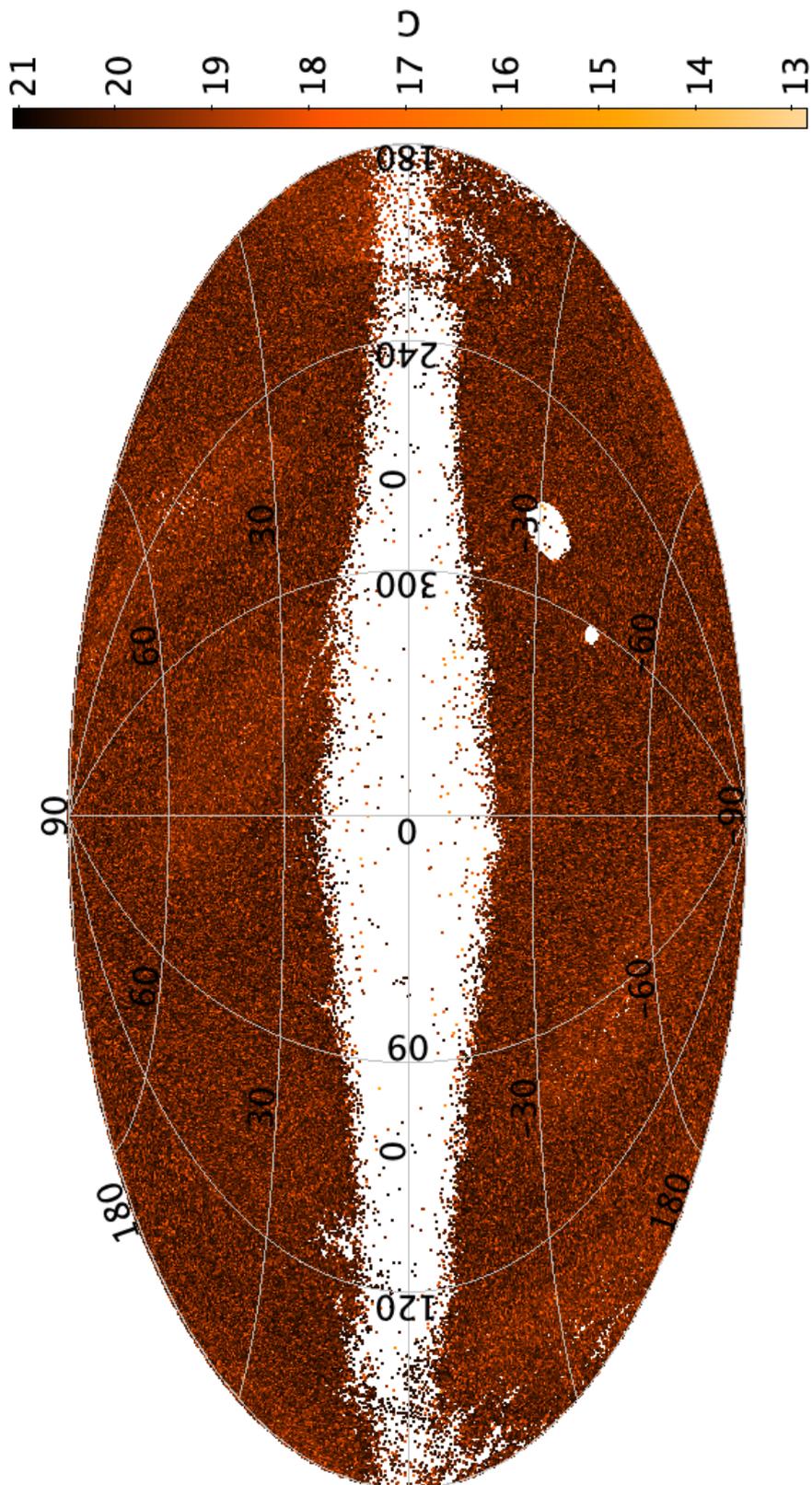
LA MUESTRA DE AGN VARIABLES DE GAIA (GLEAN)

La distribución en el cielo de las fuentes de la muestra GLEAN se muestra en la Fig. 1. El Plano Galáctico y las Nubes de Magallanes están casi vacías, como era de esperar debido a los filtros aplicados, en particular el del entorno. Sin embargo, todavía hay un exceso de AGN alrededor de las Nubes de Magallanes, lo que puede indicar alguna contaminación estelar o a las limitaciones de los estudios extragalácticos en estas regiones de alta densidad.

Una de las principales novedades de Gaia DR3 es la publicación de las curvas de luz para los AGN seleccionados en este trabajo. La Fig. 2 muestra en el panel superior un ejemplo de una curva de luz multibanda de Gaia. En el panel inferior mostramos el espectro de resolución intermedia de la fuente obtenido en el Sloan Digital Sky Survey (SDSS), junto con el de baja resolución de Gaia. Asimismo se muestran las bandas fotométricas de Gaia, para resaltar su cobertura espectral. Las respuestas espectrales de las tres bandas y el espectro están disponibles en DR3. Esta fuente es del tipo FSRQ y su desplazamiento al rojo es $z=0.414$. Podemos observar en su curva de luz como hay al comienzo un flare rápido con una disminución del brillo de aproximadamente 2 magnitudes, seguida de un aumento lento del brillo. En el espectro SDSS se detectan las líneas de emisión más prominentes de los cuásares a este redshift, MgII, H γ , H β y [OIII].

Esto indica una fuerte contribución a la emisión de la región de las líneas anchas, además de la del chorro y del disco de acrecimiento del AGN.

Figura 1. Distribución de los objetos del catálogo GLEAN en el cielo.



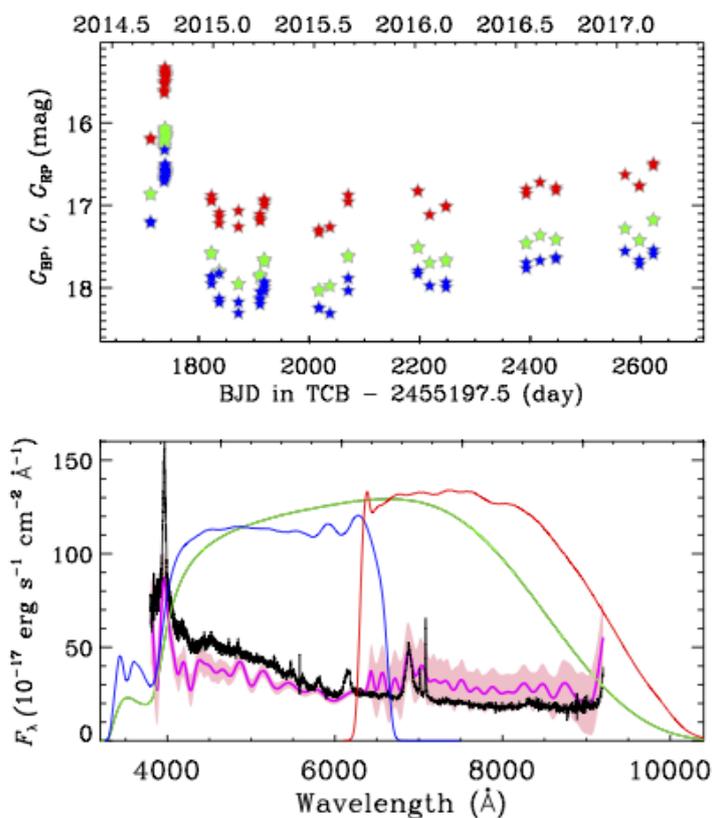


Figura 2. FSRQ 5BZQJ1549+0237 (Gaia DR3 44234482190030 43968). Panel superior: curvas de luz G (verde), G_{RP} (rojo), G_{BP} (azul). Panel inferior: espectro SDSS (negro), espectro de baja resolución de Gaia (rosa) con su incertidumbre (región rosa sombreada) y bandas de paso de Gaia.

CRUCE DE NUESTRO CATÁLOGO CON OTROS DE LA LITERATURA

La Figura 3 muestra el diagrama color-color W1 – W2 frente a W2 – W3 de las fuentes de nuestro catálogo GLEAN con contrapartida infrarroja en AllWISE (centros de banda a 3.4, 4.6 y 12.1 micras en W1, W2 y W3 respectivamente). Este diagrama es sabido que constituye una poderosa herramienta para la clasificación de fuentes. Los candidatos AGN variables se encuentran en la región donde se espera que estén los cuásares y otros tipos de AGN (por ejemplo, blazars), lo que confirma nuestra selección.

En particular, las fuentes de CANOE están distribuidas en una zona algo más pequeña, lo que sugiere que nuestro procedimiento de selección fue muy estricto, en línea con el requisito de alta pureza. La 'franja blazar', que conecta el lugar geométrico de los cuásares con el de las galaxias de tipo temprano y está mayoritariamente poblada por objetos BL Lac, está claramente trazada por fuentes pertenecientes al catálogo BZCAT5 (aclaramos que las fuentes representadas con esta leyenda son todas fuentes comunes de BZCAT5 y GLEAN).

Se estima que la fracción de AGN potentes en radio ('radio loud') es de alrededor de un 10%, aunque ésta disminuye con el aumento del desplazamiento al rojo y con la disminución de la luminosidad. Comparando la muestra GLEAN con los catálogos de fuentes en radio FIRST, NVSS y VLASS encontramos que 33706 de los candidatos AGN variables son tipo 'radio-loud', representando un 4% de la muestra.

CUÁSARES CON EFECTO LENTE GRAVITATORIA

El catálogo GLEAN incluye más de cien cuásares con efecto lente gravitatoria en los que las distintas imágenes pueden analizarse debido a la buena resolución espacial de Gaia.

Investigamos la posibilidad de derivar mediciones del retardo de tiempo entre las variaciones de flujo observadas correspondientes a las diversas imágenes de un cuásar con lente, que es el primer paso que puede conducir a la determinación del valor de la constante de Hubble. Esta es una tarea difícil, porque los cuásares se caracterizan por una suave variabilidad en escalas de tiempo de meses y porque el efecto microlente de las estrellas

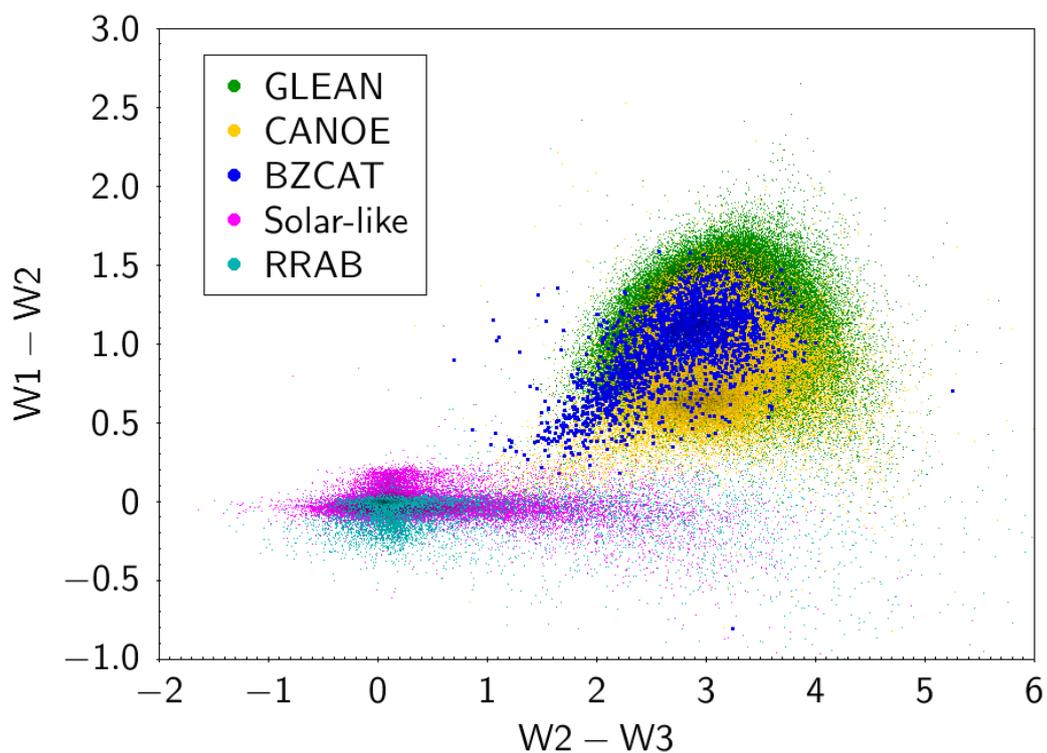
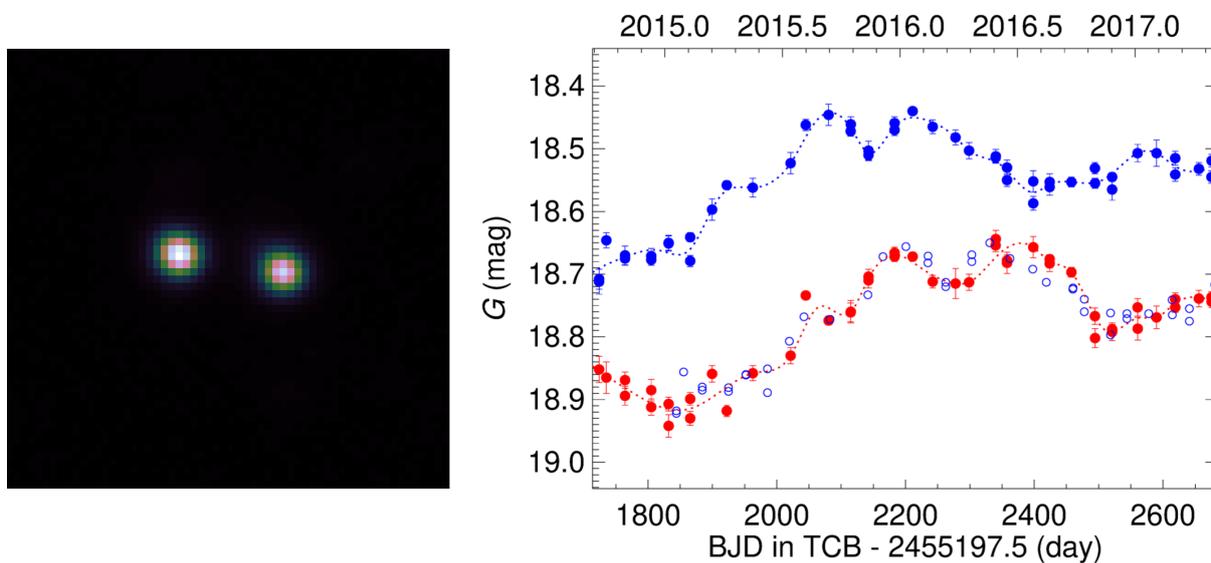


Figura 3. Diagrama color-color WISE de los candidatos AGN variables incluidos en GLEAN, CANOE y BZCAT5. Los blazares marcan la denominada 'región de blazar', que se extiende desde el lugar geométrico de los cuásares hasta la región de las galaxias de tipo temprano. Como ilustración de la localización de estrellas variables mostramos dos tipos, estrellas RR Lyrae y solar-like.

Figura 4. Izquierda: Imagen en la banda g del Dark Energy Survey(DES) del sistema de lentes DESJ0501-4118 (Norte arriba, Este a la izquierda, el tamaño de la imagen es 16.2" x 16.2"). Derecha: Curvas de luz en la banda G de Gaia de la imagen 1 (puntos azules) y la imagen 2 (puntos rojos); los círculos vacíos representan la curva de luz de la imagen 1 desplazada 121 días en tiempo y 0.21 magnitudes en brillo para coincidir con el comportamiento de la imagen 2.



de la galaxia lente puede producir características adicionales, que son diferentes en la curva de luz de las diversas imágenes. Por lo tanto, es necesario un control a largo plazo con un buen muestreo para hacer coincidir las curvas de luz de las distintas imágenes entre sí mediante la aplicación de los cambios correctos en el tiempo y el brillo. Obviamente, la detección de patrones de variabilidad característicos bien definidos mejora sustancialmente la estimación del tiempo de retardo.

Encontramos un ejemplo de este tipo en el cuásar de doble imagen DESJ0501-4118 (Lemon, C. et al, 2020, MNRAS, 494, 3491L), que se muestra en la Figura 4. El comportamiento de variabilidad característico, con una doble joroba en la curva de luz de la imagen más brillante (imagen 1), que puede reconocerse en la curva de luz de la imagen más tenue (imagen 2) después de cierto retraso, hace prometedora la posibilidad de una determinación robusta del retardo de tiempo. Los efectos de microlente de las estrellas dentro de la galaxia lente anteriormente mencionados parecen importantes aquí ya que podrían explicar las diferencias entre las dos curvas de luz que no pueden atribuirse a cambios en el tiempo y la magnitud.

Debido a estos efectos, la simple aplicación de una función de correlación discreta (DCF), un método que se diseñó específicamente para realizar una correlación cruzada de datos muestreados de manera desigual, brinda resultados un tanto inestables, que dependen del intervalo de retraso de tiempo DCF. Un tratamiento detallado de los efectos de microlente es complicado con los datos de Gaia que tenemos hasta el momento. Sin embargo, sí se puede obtener una buena estimación del retraso de tiempo. En este ejemplo concluimos que las variaciones de brillo de la imagen 2 siguen a las de la imagen 1 con un retraso de 119–121 días.

REFERENCIA

- Carnerero, M. I. et al. 2022, “Gaia Data Release 3: The first Gaia catalogue of variable AGN”, A&A, in press.