

Vedere l'invisibile: l'Agenzia Spaziale Europea a caccia dei buchi neri nell'Universo

Matteo Guainazzi – Agenzia Spaziale Europea

1.- Il misterioso oggetto al centro della nostra Galassia

La Terra, con il Sole e tutti i pianeti (ciò che chiamiamo il “sistema solare”), occupa una regione periferica in un insieme di circa 100 miliardi di stelle che compongono la “Via Lattea”, la Galassia alla quale apparteniamo. Pensiamo che la nostra Galassia abbia la forma di un disco, che si trasforma gradualmente in uno sferoide nella zona centrale.

Succede qualcosa di curioso e apparentemente inspiegabile se osserviamo il centro di questo sferoide, una regione nota agli astronomi con il nome di *Sgr A** (“Sgr” si riferisce a “Sagittario”, il nome della costellazione, dove questa regione si trova). Seguendo il movimento di decine di stelle, astronomi dello *European Southern Observatory* (ESO) hanno scoperto che esse seguono delle traiettorie ellittiche chiuse, molto simili a quelle dei pianeti:

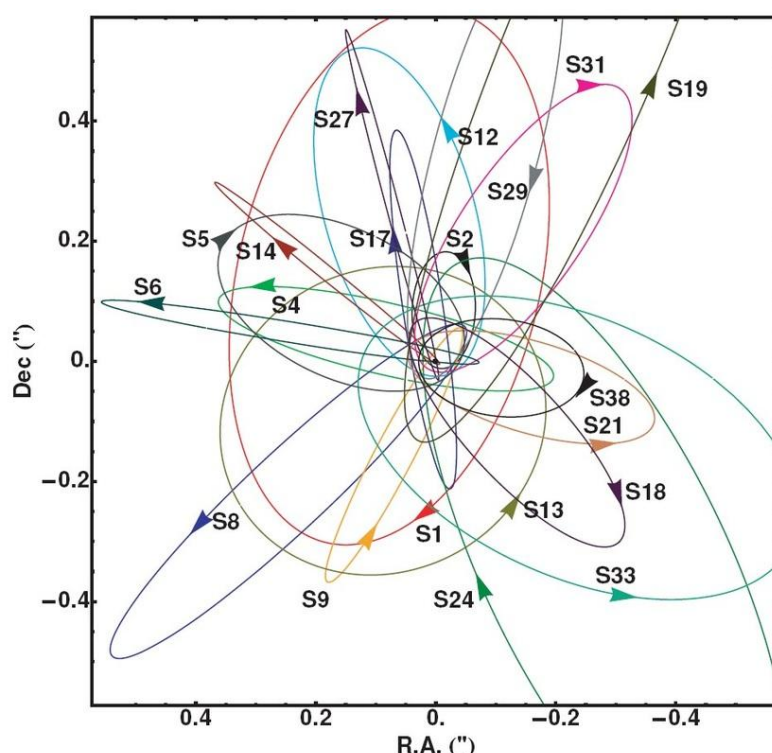


Fig.1 – Traiettorie delle stelle attorno al centro della nostra Galassia. Figura estratta dal seguente articolo: Gillessen S, et al., “Monitoring Stellar Orbits Around the Massive Black Hole in the Galactic Center”, 2009, *Astrophysical Journal*, n°692, pag.1075+

Nel caso dei pianeti sappiamo perché si muovono lungo questo tipo di orbite: è l'effetto della forza gravitazionale del sole che – come già aveva scoperto l'astronomo tedesco Johannes von Kepler nel XVI secolo – occupa uno dei fuochi di queste ellissi. Il problema nel caso della nostra Galassia è che nel fuoco comune delle ellissi non vediamo nulla, perlomeno se guardiamo con telescopi sensibili alla stessa luce che percepiamo con i nostri occhi.

Possiamo fare un esercizio d'immaginazione usando questo risultato scientifico osservativo. Immaginiamo che vi sia un corpo celeste nel fuoco comune delle ellissi. Dalla “Terza Legge di Keplero”, possiamo ricavare la massa di questo oggetto misterioso. La Legge dice che:

$$v^2 = G \times M \div R$$

dove, v è la velocità della stella, M è la massa dell'oggetto misterioso, R è la distanza fra la stella e l'oggetto¹, e G è una costante della natura che vale circa 0,00000007 se usiamo le seguenti unità di misura: centimetri, grammi e secondi. Il valore della massa che stimiamo da questa Legge è sorprendente: quattro milioni di volte più grande della massa del sole, cioè un "8" seguito da trentanove zeri se la esprimiamo in grammi.

Gli astronomi hanno provato a spiegare questa concentrazione di massa "invisibile" in vari modi. Ma solo una spiegazione resiste al confronto con le osservazioni: un **buco nero**.

2.- Definizione operativa di un buco nero

Il concetto di "buco nero" (originariamente chiamata "stella oscura") non è nuovo. Nel 1784 John Michell, filosofo e matematico inglese, descrisse in una lettera al collega Henri Cavendish stelle "*così dense e pesanti che la loro velocità di fuga fosse uguale a quella della luce*". In pratica, Michell concepì oggetti da cui nulla, nemmeno la luce, possa sfuggire, perché l'attrazione gravitazionale dovuta alla loro massa è troppo grande. Oggi non pensiamo più al buco nero come a un corpo celeste, ad un "oggetto". Lo pensiamo più come una "deformazione della rete dello spazio-tempo". Capire la struttura dell'Universo così come ce la descrive la relatività di Einstein non è intuitivo.

Immaginiamo una popolazione di formiche che vivano sulla superficie un palloncino che si gonfia continuamente, e che percepiscano solo le due dimensioni della superficie su cui si muovono: questa è l'analogia che io trovo personalmente più vicina alla forma in cui gli esseri umani percepiscono l'Universo quadridimensionale (spazio-tempo) in cui si muovono. Però questo palloncino ha una proprietà singolare: esistono dei "pozzi" sulla superficie, tali che chi si avvicinasse troppo a essi cadrebbe inesorabilmente verso l'interno, e nulla, nemmeno la luce della lampadina tascabile che si fosse portata dietro in caso di emergenza, potrebbe uscirne. Se ne resta intrappolati, "dentro", per sempre.

Cosa c'è "dentro"? Non lo sappiamo, naturalmente! Se nulla può uscire da questo "dentro", non abbiamo modo di realizzare (o semplicemente immaginare) degli esperimenti scientifici che ci permettano di capire i fenomeni fisici che si svolgono all'interno dell'"orizzonte degli eventi" (la regione dalla quale nulla può sfuggire). Astrofisici teorici, filosofi, e direttori di film di fantascienza hanno speculato abbondantemente sull'interno di un buco nero. La semplice verità è che l'astrofisica non ne sa nulla, né mai ne saprà. Quindi, limitiamoci a capire adesso come si può "osservare" un buco nero, e perché osservarli è interessante.

3.- Come si può "vedere" un buco nero?

La presenza di un buco nero è un fatto eccezionale, unico della nostra Galassia? Per rispondere a questa domanda, dovrebbe essere sufficiente ripetere l'esperimento fatto dagli astronomi di ESO: osservare le traiettorie delle stelle attorno al centro di una galassia. Se le stelle si muovono secondo orbite ellittiche chiuse, si può misurare la massa del corpo invisibile nel fuoco usando la Terza Legge di Keplero. Purtroppo questo è impossibile: anche la galassia più vicina è troppo lontana perché le stelle nel suo centro si possano misurare individualmente. Si può però utilizzare una tecnica simile, se la galassia possiede molto gas nella sua zona centrale che emette "linee". Per capire esattamente come funziona questa tecnica, dobbiamo fare una parentesi, a ricordarci di alcune proprietà fondamentali della luce e della materia.

Cosa hanno in comune le onde radio, la luce che percepiamo con i nostri occhi, i raggi UV, e i raggi X? Sono tutte manifestazioni differenti dello stesso fenomeno fisico fondamentale. Si tratta in tutti i

¹ Così formulata, la Legge assume un'orbita circolare, contrariamente all'evidenza sperimentale che ci mostra orbite ellittiche. Accettiamo questa semplificazione, perché siamo interessati all'ordine di grandezza del risultato.

casi di “onde elettromagnetiche”, energia che viaggia attraverso lo spazio in forma di campi elettrici e magnetici che oscillano come un’onda. Ciò che distingue le diverse forme di radiazione fra loro è solo la distanza fra due creste successive dell’onda, la “lunghezza d’onda”: onde con una lunghezza d’onda più corta come i raggi UV o i raggi X trasportano più energia; onde con una lunghezza d’onda più lunga come le onde radio trasportano meno energia.

Un’altra cosa che dobbiamo ricordare è la struttura elementare della materia: atomi costituiti di particelle cariche, elettroni e protoni, assieme ai neutroni (elettricamente neutri). Esiste una stretta relazione fra la luce e la struttura atomica: un’onda elettromagnetica si genera ogni qual volta che una particella carica diminuisce la sua energia; la differenza di energia si converte nell’emissione di radiazione elettromagnetica. Un caso particolare di questo processo è il passaggio di un elettrone in un atomo da un livello energetico superiore a uno inferiore. La differenza di energia fra i livelli per una data specie atomica è costante; quindi se gli elettroni degli atomi in un gas passano frequentemente da un livello a un altro, il gas emetterà radiazione elettromagnetica a una determinata lunghezza d’onda. Se questo succede, osserviamo una “linea di emissione”.

Queste linee sono la chiave che ci permette di misurare la velocità di un gas, grazie ad un effetto scoperto da un fisico e matematico austriaco, Christan Doppler, nel XIX secolo. Doppler osservò che se una sorgente di luce si allontana, la sua radiazione ci sembrerà avere un’energia minore (ovvero, ci apparirà più “rossa”); se la sorgente di luce si avvicina, la sua radiazione ci sembrerà avere un’energia maggiore (“blu”)².

Se usiamo questo effetto fisico per misurare la velocità del gas in galassie vicine otteniamo un risultato come quello mostrato nella Fig.2. Il gas segue curve Kepleriane. In questo caso la massa del buco nero centrale stimata con questo metodo è ancora più alta che nel caso della nostra Galassia: tre miliardi la massa del sole.

Se le galassie sono tanto lontane che non possiamo più separare il gas della zona centrale da quello nella restante parte della galassia (che non soffre l’effetto dell’attrazione gravitazionale del buco nero), anche il metodo Doppler appena descritto non è utile. Sono allora i raggi X e γ (collettivamente chiamati “radiazione di alta energia”) che possono aiutarci. Il gas che cade su un buco nero attratto dal suo potenziale gravitazionale raggiunge velocità prossime a quelle della luce; parte di questa energia può convertirsi in calore per attrito, e raggiungere temperature di milioni di gradi, o favorire la generazione di campi magnetici milioni di volte più intensi di quelli misurati sulla Terra. Queste condizioni sono favorevoli alla generazione di radiazione di alta energia. Questa radiazione – fortunatamente! – è completamente assorbita dall’atmosfera terrestre. Se vogliamo misurarla dobbiamo ricorrere a satelliti come XMM-Newton (X; <http://sci.esa.int/xmm-newton>) o INTEGRAL (γ ; <http://sci.esa.int/integral>).

Grazie alla radiazione di alta energia, sono stati scoperti una ventina di sistemi distribuiti nella nostra Galassia, costituiti da una stella e da un buco nero di massa compresa fra tre e qualche decina di masse solari, che emettono grandi quantità di radiazione X a causa di un disco di materia alla temperatura di milioni di gradi che il buco nero strappa via alla stella compagna. La radiazione di alta energia ci permette anche di scoprire buchi neri fino all’estremo confine dell’Universo, poche centinaia di milioni di anni dopo il *Big Bang* (si stima oggi che l’età dell’Universo sia di più di tredici miliardi di anni). Di fatto, la grande maggioranza delle centinaia di migliaia di sorgenti celesti di radiazione X che conosciamo sono “Nuclei Galattici Attivi”, galassie nel cui centro grandi quantità di gas caldo cadono su un buco nero di massa compresa fra milioni e miliardi di volte quella del Sole. In queste galassie attive l’emissione nucleare domina completamente l’emissione integrata delle stelle che la compongono. Si stima che circa il 10% delle galassie esistenti nell’Universo siano attive,

² Lo stesso effetto succede anche con le onde sonore: è la ragione per cui la sirena di un’ambulanza che si allontana/avvicina ci sembra avere un tono più basso/alto

ma che il numero di galassie che sono passate attraverso una fase attiva durante la loro vita sia molto più alto, e che a fasi attive seguano lunghi periodi di quiescenza.

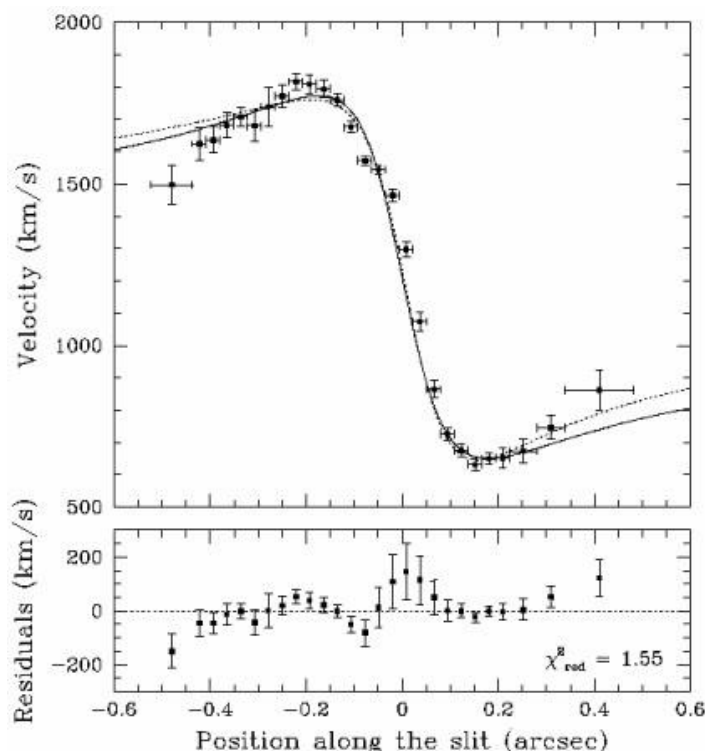


Fig.2 – Velocità del gas nella zona centrale della galassia M87. Nel pannello superiore si mostra la velocità (asse delle ordinate) in funzione della distanza dal centro stimato della galassia (asse delle ascisse): sono i punti neri. Le curve continue sono stime del comportamento del gas secondo la Terza Legge di Keplero, in base a diverse assunzioni sulla massa del buco nero centrale, e sull'inclinazione del disco di gas. Nel pannello inferiore si mostrano i residui contro uno dei modelli. La figura è tratta dal seguente articolo: Macchetto D. et al., “The supermassive Black Hole of M87 and the Kinematics of the Associated Gaseous Disk”, 1997, Astrophysical Journal, n°489, pag.579+

Questo destino è condiviso probabilmente dalla nostra stessa Galassia, oggi quiescente. Proprio grazie a misure di satelliti di alta energia sappiamo che qualche centinaio di anni fa la radiazione proveniente dal “nostro” buco nero era circa un milione di volte più intensa del livello attuale (perché sì, il buco nero al centro della nostra galassia emette un livello molto basso di onde elettromagnetiche nelle bande radio, infrarosso, e X). Gli astronomi che studiano la zona centrale della nostra Galassia sono arrivati a questa conclusione, perché hanno osservato delle nubi di gas che riflettono una quantità di radiazione X e γ che nessuno dei corpi celesti nelle vicinanze può spiegare. L'unica soluzione a questo enigma è che queste nubi siano l'eco di una radiazione di alta energia proveniente dal buco nero, quando si trovava in uno stato molto più luminoso di quello attuale. Non esiste traccia in epoca storica di un evento astronomico che possiamo ricollegare a questa ipotesi. Questo deve solo tranquillizzarci: anche in uno stato molto luminoso, il buco nero al centro della nostra Galassia emetteva meno radiazione X e γ di quella che riceviamo quotidianamente dal Sole, e che – come detto – la nostra atmosfera blocca completamente.

I buchi neri non rappresentano quindi nessun pericolo attuale o futuro per la Terra. Sono misteriosi, e utili per lo studio della storia dell'Universo, perché ci permettono di scoprire sorgenti situate all'estremo confine dell'Universo. L'Agenzia Spaziale Europea continuerà a osservarli con INTEGRAL e XMM-Newton, per dare alla comunità scientifica internazionale la possibilità di studiare come la materia si comporta in condizioni estreme, impossibili da riprodurre in laboratori terrestri.