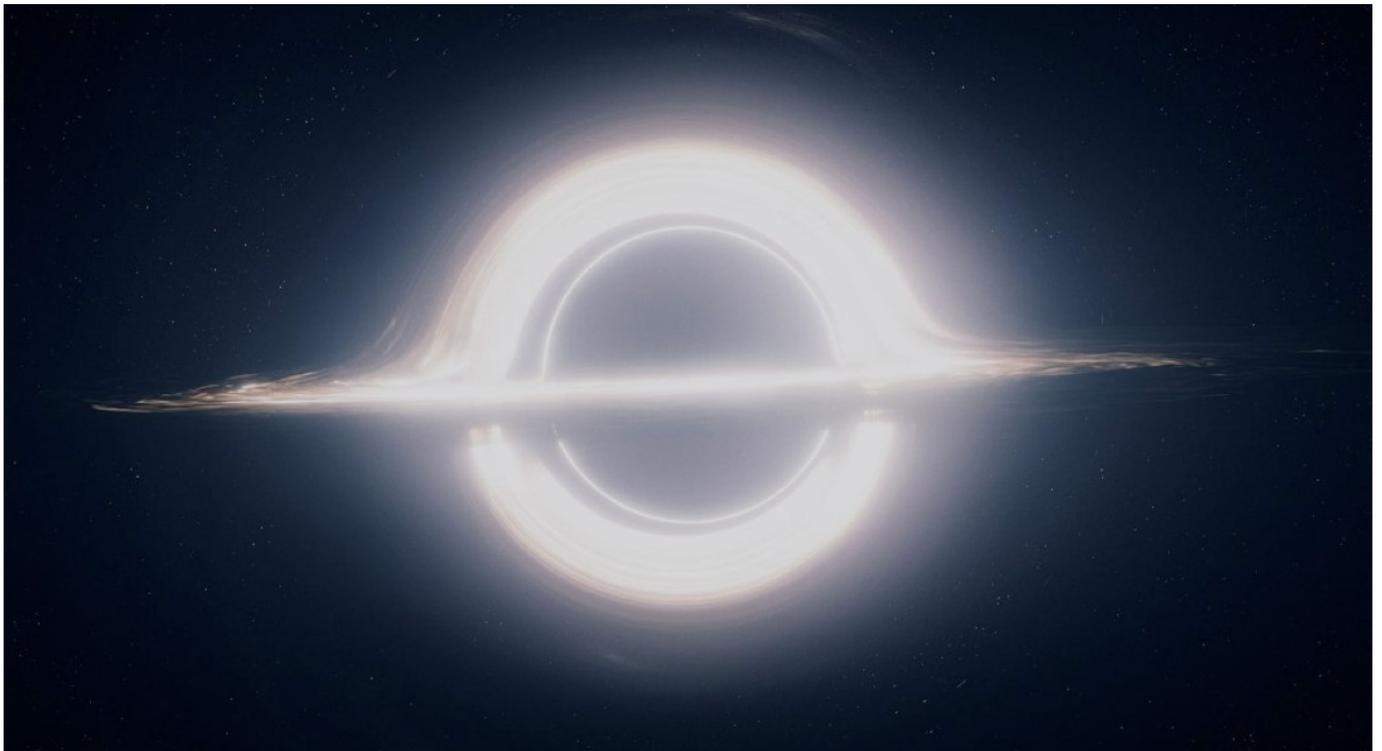


*il* **BOLLETTINO**  
del GRUPPO ASTROFILI CINISELLO BALSAMO  
numero 68 - Gennaio 2021



**BUCHI NERI: UNA FAMIGLIA DI MOSTRI**

## IN QUESTO NUMERO

### EDITORIALE

Una cometa (con congiunzione) per sperare - <i>Cristiano Fumagalli</i>	3
Post Scriptum - <i>Stefano Spagocci</i>	4
Teoria e pratica dei Buchi Neri: L'astronomia ancora premiata dal Nobel! - <i>Stefano Spagocci</i>	6
Quanto durerà la vita sulla Terra? - <i>Adriano Gaspani</i>	11
Cieli Celtici Sereni! Sperando che non ci cadano sulla testa! - <i>Davide Villa</i>	16
Piccola enciclopedia astronomica Buchi Neri: una famiglia di mostri - <i>Franco Vruna</i>	23
Astro News - <i>Cristiano Fumagalli</i>	26

## EDITORIALE

## UNA COMETA (CON CONGIUNZIONE) PER SPERARE

*Cristiano Fumagalli*

Il titolo può sembrare insolito per un editoriale d'impronta scientifica, richiama più un argomento natalizio con riferimenti biblici. Eppure ci starebbe, visto ciò che è successo quest'anno, con il cielo visto molto raramente, a causa delle restrizioni che tra *lockdown* e coprifuoco ci hanno costretti in casa per lungo tempo a condurre riunioni in videoconferenza.

Uno strano gioco del destino, però, ha fatto sì che nel breve periodo tra giugno e ottobre, quando ci si poteva di nuovo spostare liberamente, apparisse nei cieli quello che da sempre è l'oggetto dei desideri degli astrofili: una cometa visibile a occhio nudo. È arrivata quasi di sorpresa, nei cieli di luglio, la cometa Neowise, diventando anche circumpolare a metà mese con la possibilità di osservarla tutta notte.

Eccola, splendente con la sua lunga coda (anzi due, le foto mostravano anche quella sottile, azzurra, dei gas) e la chioma turchese, uno spettacolo a occhio nudo e ancor di più al binocolo, una vera gioia per chi si diletta con l'astrofotografia. Bellissimo è stata anche mostrarla al pubblico che, seppur contingentato, tornava in osservatorio.

Usando giocoforza una telecamera, siamo riusciti a far loro osservare la chioma che quel giorno era diventata di un colore verde brillante, tra l'entusiasmo dei visitatori più piccoli. Sembrava quasi una compensazione dei mesi rinchiusi in casa. Invece, eccoci di nuovo costretti a rinunciare alla cosa che amiamo di più, il cielo stellato.

Proprio mentre vi scrivo è la vigilia di un evento raro che avviene proprio nel giorno del solstizio d'inverno, la congiunzione tra Giove e Saturno che saranno mai così vicini negli ultimi quattro secoli, arrivando quasi a toccarsi prospetticamente. Questa particolare configurazione alcuni la legano alla stella che guidò i Magi e che insolitamente avviene in prossimità del Natale (anche se io preferisco l'ipotesi suggerita da Molnar, pubblicata su *Sky and Telescope* del Gennaio 1992 e da me segnalata sul Bollettino n. 3 - una congiunzione Giove-Marte-Luna in Ariete).

*Questi due particolari segnali celesti ci danno la forza di sperare ancora, indipendentemente che la si veda da credente o da laico, che nel prossimo anno "usciremo di nuovo a riveder le stelle". Un sereno Natale e un 2021 migliore possibile a tutti i lettori!*

# POST SCRIPTUM

## UNO SCRITTO CHE NON AVREI VOLUTO SCRIVERE

*Stefano Spagocci*

Tutti noi (almeno credo) siamo stanchi e anche giustamente esasperati da quasi un anno di limitazioni delle libertà costituzionali, *in primis* la libertà di spostamento e quella di impresa. Inoltre, qualcuno potrebbe dire, questo è il bollettino di un'associazione di astrofili e non un periodico di attualità, medicina, virologia o epidemiologia. E poi perchè, come si suol dire, "girare il coltello nella piaga"?

D'altro canto, il Gruppo Astrofili Cinisello Balsamo si è sempre mostrato aperto verso tutte le tematiche scientifiche, anche quelle non strettamente astronomiche e, in ogni caso, nel numero precedente avevo promesso ai lettori un aggiornamento riguardo all'epidemia, o meglio ai risultati del mio studio sull'andamento della stessa.

Lo studio in questione è ancora in corso e, dato che la seconda ondata, iniziata lo scorso agosto, purtroppo non si è ancora placata, ho ritenuto opportuno rimandare l'analisi dei dati raccolti al giorno in cui (si spera presto, data la campagna vaccinale che sta procedendo anche nella nostra Lombardia) la seconda ondata si sarà placata. Sperando che non ci sia una terza ondata! Nel prossimo numero riferirò dei risultati dello studio e dell'iniziativa editoriale menzionata nello scorso numero che, per le stesse ragioni, è stata posticipata.

Quale sia stato il corso dell'epidemia lo sapete tutti, credo, quindi in questa sede mi limiterò a una telegrafica (e costruttiva, perchè non si pensi che io sappia solo criticare) osservazione. Ho notato, con soddisfazione, che dopo mesi di informazione oscillante tra il "tutto sotto controllo" di un certo giorno e il "tutto fuori controllo" del giorno successivo, finalmente i giornalisti italiani si sono resi conto dell'esistenza di indicatori (quali l'indice  $R_t$  o il rapporto fra tamponi effettuati e contagi riscontrati o, purtroppo, il numero di decessi) sostanzialmente indipendenti dal numero di tamponi effettuati in un dato giorno.



*Nella foto: La cometa Neowise fotografata da Cristiano Fumagalli il 18 luglio 2020 dall'Osservatorio Astronomico Presolana.*

# TEORIA E PRATICA DEI BUCHI NERI: L'ASTRONOMIA ANCORA PREMIATA DAL NOBEL!

*Stefano Spagocci*

Dopo il 2011 (espansione accelerata dell'universo), il 2017 (onde gravitazionali) e il 2019 (radiazione cosmica di fondo ed esopianeti), anche nell'anno appena trascorso il Premio Nobel per la Fisica (Fig.1) ha premiato ricerche astronomiche. Il premio è stato infatti diviso tra il britannico Roger Penrose (50%), la statunitense Andrea Ghez (25%) e il tedesco Reinhard Genzel (25%), per fondamentali ricerche riguardanti i buchi neri (più in dettaglio, come vedremo, la teoria e la pratica degli stessi).

L'autore di queste note si è sempre premurato di informare i lettori riguardo ai Premi Nobel conferiti per ricerche astronomiche, astrofisiche o cosmologiche, o ricerche di fisica fondamentale rilevanti per l'astronomia. Ci sembra inoltre trattarsi di ricerche che il pubblico degli appassionati di astronomia non conosce o, quando anche ne abbia sentito parlare, non conosce a sufficienza. Due buone ragioni per parlarne in questa sede!

## **Un po' di storia**

Riguardo al concetto di buco nero, rimandiamo il lettore al contributo di Franco Vruna su questo stesso numero; in estrema sintesi, comunque, un buco nero è un oggetto la cui densità è così grande che la velocità di fuga dallo stesso supera la velocità della luce. Poiché nulla può superare la velocità della luce, nulla può sfuggire dalla superficie di un buco nero, nemmeno la luce, il che ne giustifica il nome! Per meglio apprezzare il contributo dei premiati, integriamo comunque l'ottimo contributo di Vruna con considerazioni storiche.

Furono il britannico John Michell e il più famoso francese Pierre Simon de Laplace, verso la fine del '700, a prevedere l'esistenza di buchi neri, sulla base della teoria newtoniana della gravitazione. Il loro ragionamento fu quello che abbiamo appena esposto ma a tal proposito precisiamo che ai tempi di Michell e Laplace non era noto il fatto che nessun corpo può viaggiare a velocità maggiori di quella della luce (lo abbiamo imparato con Einstein all'inizio del '900); dunque, a rigore, da un buco nero newtoniano la luce non potrebbe sfuggire ma potrebbero sfuggirgli eventuali oggetti dotati di una velocità maggiore di quella della luce.

Un buco nero relativistico è cosa diversa da un buco nero newtoniano ma non è questa la sede per approfondire la questione. Basti comunque sapere che il moderno concetto di buco nero si deve all'opera del tedesco Karl Schwarzschild che nel 1916, pochi mesi dopo la pubblicazione della teoria della relatività generale da parte di Albert Einstein, trovò una soluzione alle equazioni di Einstein che oggi sappiamo descrivere un buco nero.

Fu lo statunitense Robert Oppenheimer, nel 1939, a collegare il concetto di buco nero con quello di collasso stellare, prevedendo che una stella di grande massa finisse la sua vita come buco nero (di massa pari o superiore a qualche massa solare). Fu però lo statunitense John

Archibald Wheeler a coniare il termine “buco nero”, in una sua pubblicazione del 1967 (qualche puritano ritenne il termine osceno e per questa ragione ci fu una certa resistenza alla sua adozione, strano ma vero).

Riguardo ai buchi neri presenti al centro di molte galassie (con masse variabili tra i milioni e i miliardi di masse solari), la loro esistenza fu teorizzata per giustificare il comportamento di quelli che oggi chiamiamo “quasar”. I quasar, in estrema sintesi, sono oggetti celesti di apparenza stellare che però si scoprirono essere situati a distanze dalla Terra dell'ordine dei miliardi di anni luce. La conseguenza di ciò è che un solo quasar emette cento volte o più l'energia emessa da una singola galassia “normale”.

Il primo quasar (3C273, nella costellazione della Vergine) fu scoperto nel 1963 da Maarten Schmidt; fu subito chiaro che per giustificare l'insolitamente alta luminosità dei quasar era necessario ammettere che i quasar fossero nuclei di galassie, al cui centro vi fossero stelle super-massicce di massa dell'ordine dei milioni di masse solari. Si capì in seguito che simili stelle sarebbero stati oggetti troppo instabili e in due articoli scientifici, rispettivamente del 1969 e 1971, fu proposto che al centro di molte galassie (e sicuramente al centro delle galassie il cui nucleo ci appare in guisa di quasar) fosse presente un buco nero super-massiccio di massa variabile tra i milioni e i miliardi di masse solari e che un buco nero super-massiccio fosse presente al centro della Via Lattea.

## **Inevitabili singolarità**

Veniamo dunque a Roger Penrose, uno scienziato eclettico e geniale, fisico matematico e matematico in senso proprio tra i maggiori dell'ultimo secolo. Focalizziamoci però sui contributi di Penrose alla teoria dei buchi neri. A tal proposito diremo che la soluzione di Schwarzschild, e le successive soluzioni di Kerr (1963) e di Kerr-Newman (1965) valgono per buchi neri perfettamente simmetrici. In particolare, la soluzione di Schwarzschild descrive buchi neri non rotanti e privi di carica elettrica a simmetria sferica, la soluzione di Kerr descrive buchi neri rotanti e privi di carica elettrica, aventi la forma di un ellissoide, la soluzione di Kerr-Newman descrive buchi neri rotanti ed elettricamente carichi, aventi simmetria ellissoidale.

Si tratta di soluzioni idealizzate perché è ben difficile che un concreto buco nero abbia la perfetta simmetria richiesta dalle soluzioni in questione. Sappiamo che un buco nero è caratterizzato dal suo orizzonte degli eventi, la superficie passata la quale un corpo non può più sfuggire al buco nero e cade inesorabilmente verso il suo centro, e la singolarità centrale, un punto di temperatura e densità infinita dove cessano di valere le leggi della fisica quali le conosciamo. Furono i sovietici Evgeny Lifshitz e Isaak Khalatnikov, nel 1963, a proporre che la non perfetta simmetria dei collassi gravitazionali rendesse non realistiche le soluzioni sopra-menzionate e che quindi, nella teoria del Big Bang e nella teoria dei buchi neri, di fatto non si generassero mai singolarità.

Possiamo congetturare (è una convinzione del vostro autore che non è storico della scienza e le cui convinzioni possono lasciare il tempo che trovano) che l'avversione dei fisici sovietici verso il concetto di singolarità abbia avuto ragioni ideologiche, essendo il concetto troppo “mistico” per

sostenitori del materialismo storico; ad ogni modo, i fisici sovietici non avevano tutti i torti nel diffidare di tali soluzioni.

Al problema sollevato dai sovietici si dedicò Roger Penrose, con una storica pubblicazione che data al 1965. Nella pubblicazione Penrose introdusse il concetto di superficie intrappolata. Per superficie intrappolata si intende una superficie tale per cui le traiettorie di ogni punto materiale che lasci la superficie in una qualunque direzione nel futuro si trovino a convergere verso la singolarità. Secondo Penrose la formazione di una superficie intrappolata è possibile anche in situazioni realistiche e, una volta che si sia formata la superficie, è inevitabile la formazione di un buco nero che inevitabilmente conterrà una singolarità.

Segnaliamo infine il fatto che, grazie ad ulteriori studi condotti con la collaborazione di Stephen Hawking (1965-1970) fu risolto anche il problema della singolarità cosmologica che aveva assillato i fisici sovietici come e più di quello della singolarità al centro di un buco nero. Hawking e Penrose, in particolare, dimostrarono che nella teoria del Big Bang è inevitabile l'esistenza di una singolarità situata nel passato, il punto di densità e temperatura infinita da cui iniziò l'espansione dell'universo.

## **Buchi Neri galattici**

Se Roger Penrose compì studi fondamentali per la teoria dei buchi neri, ad Andrea Ghez e Reinhard Genzel si devono studi fondamentali per la "pratica" degli stessi. I due studiosi, in particolare, si sono occupati (e si occupano) del buco nero super-massiccio al centro della Via Lattea, la nostra galassia. Abbiamo già riferito degli studi che, a cavallo tra gli anni '60 e '70, portarono a supporre che al centro della nostra galassia vi fosse un buco nero super-massiccio. Al centro della nostra galassia, in particolare, è presente un'intensa radio-sorgente detta Sagittarius A\*. Che Sagittarius A\* fosse un buco nero-supermassiccio lo si sospettava da tempo ma la prova sperimentale si ebbe solo con gli studi di Ghez e Genzel.

Il centro della nostra galassia è ricco di polveri e gas che ostacolano le osservazioni nelle bande elettromagnetiche che non siano le onde radio e l'infrarosso; le osservazioni sono quindi particolarmente difficili. Solo all'inizio degli anni '90 il progresso di tecnologie quali l'ottica adattiva permise una mappatura del moto delle stelle che orbitano attorno a Sagittarius A\*, compito al quale si dedicarono (con una sana e costruttiva concorrenza) il gruppo statunitense guidato dalla Ghez ed il gruppo europeo guidato da Genzel.

Le osservazioni di entrambe i gruppi sono state effettuate nell'infrarosso vicino. Il gruppo statunitense ha fatto uso dei telescopi del Keck Observatory (10 m ciascuno), siti sulla sommità del Mauna Kea, Isole Hawaii (USA). Il gruppo europeo ha fatto uso dei telescopi ESO (European Southern Observatory) siti in Cile: dapprima il New Technology Telescope (3.58 m), sito a La Silla, quindi il Very Large Telescope (un telescopio multi-specchio da 4x8.2 m), sito presso il Cerro Paranal.

Tali osservazioni sono state rese possibili dall'impiego di ottiche adattive. Senza entrare nel dettaglio, ricordiamo che in un sistema ad ottica adattiva la forma dello specchio del telescopio

è soggetta a piccole correzioni che il sistema calcola in modo da ottimizzare l'immagine di una sorgente di riferimento (stella luminosa o sorgente laser artificiale) della quale si conosce il profilo ottimale. Correggendo l'immagine di riferimento, se essa è sufficientemente vicina alla stella sotto osservazione, è automaticamente corretta anche l'immagine della stella.

Entrambe i gruppi dai primi anni '90 tracciano l'orbita di circa 30 stelle distanti dal centro galattico meno di un mese luce. In Fig.2 mostriamo l'orbita della stella S2 che gli astronomi hanno potuto seguire per circa due rivoluzioni. L'orbita di S2 e delle altre stelle prese in considerazione dalle due collaborazioni si spiega ammettendo che uno dei fuochi dell'ellisse sia costituito da un oggetto avente massa di poco più di 4 milioni di masse solari, concentrati in un raggio dell'ordine di quello del nostro sistema solare, tale oggetto essendo identificato con Sagittarius A\*. Si è quindi avuta la prova sperimentale dell'esistenza di un buco nero super-massiccio al centro della nostra galassia.

Nel Bollettino n. 65 del 2019 abbiamo riferito della straordinaria "fotografia" del buco nero super-massiccio al centro della galassia M87, ottenuta da una collaborazione internazionale di radioastronomi mediante un "radiotelescopio virtuale" ottenuto combinando le osservazioni di radiotelescopi sparsi su tutto il globo. Si è trattato di un risultato straordinario ed il prossimo passo sarà l'ottenere una "fotografia" di Sagittarius A\*. Ciò nulla toglie al valore degli studi di Ghez e Genzel che sono anzi complementari a questi. E si è trattato di uno sforzo tecnologico e scientifico non inferiore a quello fatto dalla collaborazione che ci ha donato la prima immagine di un buco nero. Si consideri, ad esempio, il fatto che dall'inizio degli anni '90 ad oggi la risoluzione angolare delle osservazioni di Ghez e Genzel è migliorata di un fattore mille!

#### Roger Penrose

"for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity"



#### Reinhard Genzel

"for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy"

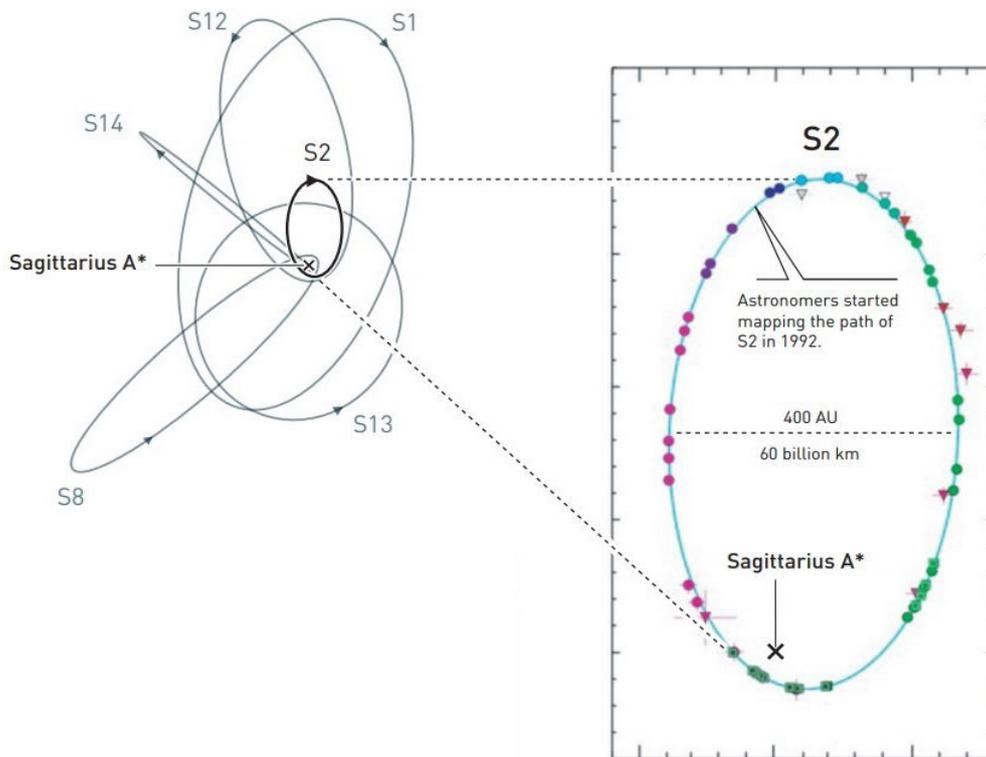


#### Andrea Ghez

"for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy"



*I Premi Nobel per la Fisica 2020.*



*Orbita della stella S2 attorno a Sagittarius A\*, il buco nero supermassiccio al centro della nostra galassia. Come riferito nella didascalia, gli astronomi hanno iniziato a mappare l'orbita nel 1992, essendo il periodo di rivoluzione pari a 16 anni circa. Le proprietà dell'orbita in questione, e dell'orbita delle altre stelle prese in considerazione dalle due collaborazioni, portano ad attribuire a Sagittarius A\* la massa di poco più di 4 milioni di masse solari. Recentemente gli astronomi sono anche riusciti ad analizzare l'orbita sulla base della relatività generale: ancora una volta le previsioni della teoria della relatività si sono dimostrate in perfetto accordo coi dati sperimentali.*

# QUANTO DURERÀ LA VITA SULLA TERRA?

*Adriano Gaspani*

I.N.A.F. - Osservatorio Astronomico di Brera-Milano  
[adriano.gaspani.astro@gmail.com](mailto:adriano.gaspani.astro@gmail.com)

## Introduzione

Prima di affrontare qualsiasi speculazione in merito alla durata della vita sulla Terra è necessario fare alcune considerazioni di natura temporale. In primo luogo sappiamo che l'età attuale della Galassia è dell'ordine dei 10 miliardi di anni, mentre l'età dell'Universo è dell'ordine dei 13.8 miliardi di anni. Quando una galassia come la nostra si è formata, la sua composizione chimica prevalente era data dall'idrogeno che risulta anche essere il componente fondamentale delle stelle che si formarono all'interno di essa.

La formazione delle stelle è un processo continuo che avviene all'interno delle galassie e insieme alle stelle si formano i loro sistemi planetari. I pianeti di tipo terrestre, quelli che più probabilmente possono ospitare la vita, richiedono la disponibilità di metalli pesanti, quali ad esempio il carbonio, che non sono disponibili nelle fasi iniziali di evoluzione delle galassie ma sono il prodotto finale dell'evoluzione stellare; è quindi necessario che le prime generazioni di stelle si evolvano e distruggendosi disperdano nello spazio rilevanti quantità di materia contenente metalli pesanti. La questione della metallicità delle galassie è quindi fondamentale dal punto di vista dello sviluppo della vita, almeno come noi la intendiamo, sui pianeti adatti che orbitano intorno alle stelle della galassia nella giusta posizione.

Il tempo mediamente necessario perché siano disponibili abbastanza metalli pesanti affinché si possano formare pianeti di tipo terrestre è di  $(6.4 \pm 0.9)$  miliardi di anni. Curiosamente l'età del Sistema Solare (quindi della Terra) è più bassa, tanto che il valore attualmente accettato è pari a  $(4.5681 \pm 0.004)$  miliardi di anni, quindi la Terra sembra essere di circa 1.8 miliardi di anni più giovane della media. Nel futuro la vita sulla Terra è destinata a sparire, a causa del processo evolutivo del Sole che lo porterà inizialmente ad espandersi e poi a contrarsi, distruggendo completamente ogni forma di vita. La domanda interessante è però "quando questo avverrà?". Nel presente lavoro cercherò di rispondere a questa fondamentale domanda.

## Lo sviluppo della vita

Esiste un certo numero di condizioni che un pianeta appartenente ad un sistema planetario deve soddisfare affinché vi si possa sviluppare la vita. Naturalmente se facciamo l'ipotesi (assai probabile, vista la grande uniformità di composizione chimica nell'Universo, ma non certa al cento per cento) che la vita non possa essere troppo dissimile a quella che conosciamo o perlomeno che la tipologia di vita sia basata sul DNA.

La stella centrale del sistema dovrebbe essere singola ma questa non è una condizione strettamente necessaria. Un sistema formato da una stella doppia o multipla impedirebbe in

effetti orbite planetarie stabili che mantengano almeno uno o due pianeti all'interno della zona di abitabilità. Nel caso dei pianeti più prossimi alle stelle le orbite descritte potrebbero essere piuttosto instabili ma, nel caso dei pianeti posti relativamente lontano, la situazione è molto più favorevole, come la recente scoperta di Proxima Centauri b ci ha confermato.

Il sistema planetario dovrebbe contenere pianeti di massa notevolmente inferiore a quella di Giove, affinché la vita possa svilupparsi. La stella non dovrebbe appartenere alla prima generazione di stelle galattiche, perché in tal caso la materia da cui essa e i suoi pianeti si sarebbero formati non conterrebbe sufficienti quantità di carbonio, azoto, ossigeno, zolfo, fosforo, ferro, necessari per la formazione di composti biochimici. Prima di potersi formare la vita è quindi necessario che gli elementi pesanti si siano formati dall'esplosione di supernove galattiche.

La massa della stella intorno a cui orbita il sistema planetario dovrebbe essere compresa fra 0.5 e 2 masse solari. Stelle di massa maggiore avrebbero una vita troppo breve per permettere l'evoluzione di forme di vita durature. Stelle di massa più piccola non emettono energia sufficiente ad alimentare la vita anche sui pianeti più vicini. Dati i rispettivi tempi evolutivi, è probabile che nel caso di stelle di piccola massa, dell'ordine di 0.5 masse solari, la vita microbica sia di gran lunga più abbondante delle forme altamente evolute.

La massa di un pianeta candidato allo sviluppo della vita dovrebbe essere abbastanza grande da trattenere un'atmosfera contenente gli elementi base della vita, idrogeno, carbonio, azoto, ossigeno, ma non troppo, come è il caso di Giove, perché l'eccesso di idrogeno distruggerebbe le molecole biochimiche.

L'orbita del pianeta dovrebbe essere quasi circolare, per evitare variazioni troppo forti di temperatura e illuminazione, e ad una distanza tale da mantenere la temperatura media a valori accettabili (fra -20 C e +70 C circa), affinché sulla superficie del pianeta possa sussistere acqua allo stato liquido. Perché questo avvenga, data la temperatura fotosferica della stella  $T$  ed il suo raggio  $R$ , la distanza media  $R_p$  (in unità astronomiche, pari a 149.6 milioni di km) a cui il pianeta dovrebbe essere posizionato è data da:

$$R_p = \frac{R}{R_s} \cdot \left( \frac{T}{T_s} \right)^2$$

in cui  $R_s$  è il raggio del Sole e  $T_s$  è la sua temperatura fotosferica, pari a 5780 K. La variazione permessa per  $R_p$  è pari al 10% in più o in meno del valore ottimale.

L'atmosfera del pianeta dovrebbe essere tale da permettere la formazione di molecole organiche e proteggere il suolo dalla radiazione ultravioletta. Il pianeta dovrebbe anche essere dotato di un campo magnetico abbastanza rilevante, in modo che la sua magnetosfera possa essere in grado di bloccare le particelle cariche provenienti dalla stella centrale.

Ci dovrebbe poi essere abbondante quantità di acqua allo stato liquido; si ritiene infatti che gli oceani forniscano l'ambiente più adatto perché avvenga la sintesi di molecole complesse prebiotiche. È necessaria anche l'esistenza di una superficie solida, ritenuta necessaria perché le complesse molecole dette monomeri si aggregino in polimeri.

Tali condizioni sono quelle che si pensa abbiano permesso la nascita della vita sulla

Terra ma non tutti i bioastronomi concordano, poiché non è detto che quella di tipo terrestre sia l'unica possibile vita; una piccola minoranza di studiosi pensa che la vita non debba essere necessariamente basata su RNA e DNA. Secondo il chimico R. Shapiro e il fisico G. Feinberg, ad esempio, esistono solo tre condizioni essenziali alla nascita della vita: disponibilità di energia, un sistema capace di usare tale energia per diventare ordinato ed infine abbastanza tempo a disposizione. Tali studiosi non escludono la possibilità di forme di vita che utilizzino un solvente diverso dall'acqua, per esempio l'ammoniaca, e una vita basata su elementi diversi dal carbonio.

## Probabilità di esistenza di vita basata sul DNA

Affinché il DNA possa formarsi spontaneamente è richiesto un lasso di tempo dell'ordine di 1 miliardo di anni, quindi la probabilità di formazione casuale del DNA ( $P_{DNA}$ ) è dell'ordine di 1 su un miliardo. Su questa base è possibile dare una valutazione della probabilità di sviluppo della vita su un pianeta. Se dunque  $P_u$  è la probabilità che su un dato pianeta esista una forma di vita basata sul DNA, si ha:

$$P_u = P_p \cdot P_t \cdot P_{DNA}$$

ove  $P_p$  è la probabilità che una stella della galassia considerata abbia un sistema planetario e  $P_t$  è la probabilità che un pianeta di quel sistema planetario si trovi ad orbitare nella zona di abitabilità di quella stella.

Se calcoliamo la probabilità complementare ( $1-P_u$ ) avremo la probabilità che su un pianeta nella zona di abitabilità della sua stella non si sviluppi vita basata sul DNA. Se poi consideriamo il numero  $N$  di stelle che compongono una data galassia e calcoliamo la probabilità che in un pianeta adatto allo sviluppo della vita, posto intorno ad una delle  $N$  stelle, non si sviluppi una forma di vita basata sul DNA, otteniamo  $(1-P_u)^N$ . Infine, la probabilità che vita basata sul DNA si sviluppi su almeno un pianeta intorno ad una delle  $N$  stelle è data da:

$$P_o = 1 - (1 - P_u)^N$$

Per la nostra galassia abbiamo  $N=(100 \text{ miliardi})$  e  $P_{DNA}=1/(1 \text{ miliardo})$  e se adottiamo una stima ottimistica e poniamo  $P_p=0.7$  e  $P_t=0.1$ , avremo che  $P_o=99.91\%$ . Se adottiamo invece una stima pessimistica e poniamo  $P_p=0.5$  e  $P_t=0.05$ , risulterà che  $P_o=91.79\%$ . Abbiamo quindi una probabilità compresa tra il 91.8% e il 99.9% che nella nostra galassia si sia sviluppata almeno una forma di vita basata sul DNA e infatti eccoci qui: siamo noi!

A questo punto possiamo calcolare la probabilità  $P_v(n)$  che in una galassia composta da  $N$  stelle possano esistere  $n$  pianeti su cui si è sviluppata una varietà di vita basata sul DNA, ammesso che solo un pianeta per ogni sistema planetario si trovi nella posizione orbitale favorevole rispetto alla propria stella. Siccome però il numero di stelle in una galassia è dell'ordine dei 100 miliardi, il calcolo della probabilità diventerebbe molto complicato se si impiegasse la formula binomiale che a rigore si dovrebbe usare. Possiamo però impiegare un'approssimazione normale che permette

di eseguire il calcolo in maniera più agevole:

$$P_v(n) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(n - N \cdot P_o)^2}{2\sigma^2}}$$

$$\sigma = \sqrt{N \cdot P_o \cdot (1 - P_o)}$$

Nella nostra galassia dovrebbero quindi esistere tra 92.0 e 99.9 miliardi di forme di vita basate sul DNA, quindi sembra che la vita, almeno quella unicellulare, sia estremamente diffusa. Le civiltà evolute e tecnologiche sono però molto meno frequenti.

## La zona di abitabilità intorno alle stelle

Affinché la vita possa svilupparsi su un pianeta roccioso orbitante intorno ad una stella singola è necessario che esso percorra tutta la sua orbita all'interno di una corona circolare centrata sulla stella e ampia in modo tale che le condizioni climatiche sul pianeta permettano l'esistenza del solvente naturale più efficace, l'acqua allo stato liquido.

Data una stella di sequenza principale ed avente massa  $M_s$ , esiste un guscio sferico posto a una distanza media  $d_{ave}$  nel quale un pianeta che vi orbita può contenere acqua allo stato liquido. Tale guscio è denominato zona di abitabilità (habitability zone, HZ). Il limite inferiore  $d_{inf}$  di tale guscio è la distanza massima dalla stella alla quale un pianeta che contiene acqua la vedrà evaporare a causa dell'irraggiamento. Il limite superiore  $d_{sp}$  è la distanza minima alla quale l'acqua presente sul pianeta ghiaccerà a causa della bassa temperatura superficiale.

Il calcolo analitico delle distanze estreme della zona di abitabilità è molto complesso ma è possibile ottenere alcune formule che descrivono statisticamente i limiti della zona di abitabilità espresse in UA, in funzione della massa stellare espressa in masse solari. Si ha:

$$d_{inf} = 0.75 \cdot \sqrt{M_s^{3.5}}$$

$$d_{sp} = 1.77 \cdot \sqrt{M_s^{3.5}}$$

$$d_{ave} = \sqrt{M_s^{3.5}}$$

## L'evoluzione della zona di abitabilità solare

Fintanto che la Terra orbiterà rimanendo all'interno della zona di abitabilità solare, la vita sul nostro pianeta potrà sussistere. Se per qualche ragione la Terra ne uscisse, sarebbe la fine e ogni forma di vita si estinguerebbe rapidamente. Possibile che questo accada? Sì perché il destino del Sole sarà quello di aumentare di temperatura ed espandersi e questo avrà ripercussione sulla zona di abitabilità che si allontanerà dalla Terra; il nostro pianeta, a quel punto, sperimenterà un consistente aumento di temperatura, tanto da veder bollire l'acqua degli oceani.

Ma andiamo con ordine. L'evoluzione temporale della distanza minima  $d_{inf}$  e della distanza massima  $d_{sp}$  della zona di abitabilità, espresse in UA, sono statisticamente esprimibili dalle seguenti formule:

$$d_{inf} = 0.65 + 0.006 \cdot t^2$$

$$d_{sp} = 1.49 + 0.015 \cdot t^2$$

ove  $t$  rappresenta l'età del Sole, contata a partire dalla sua formazione (4.57 miliardi di anni fa) ed espressa in miliardi di anni (Gy).

Osservando la figura che riporta l'andamento del limite inferiore e superiore della zona di abitabilità del Sistema Solare si nota che la Terra, posta per definizione alla distanza media di 1 UA dal Sole, rimarrà entro la zona per alcuni miliardi di anni e poi, a causa dello spostamento nello spazio del limite inferiore della HZ, essa si troverà ad uscirne con risultati catastrofici per la vita sul nostro pianeta.

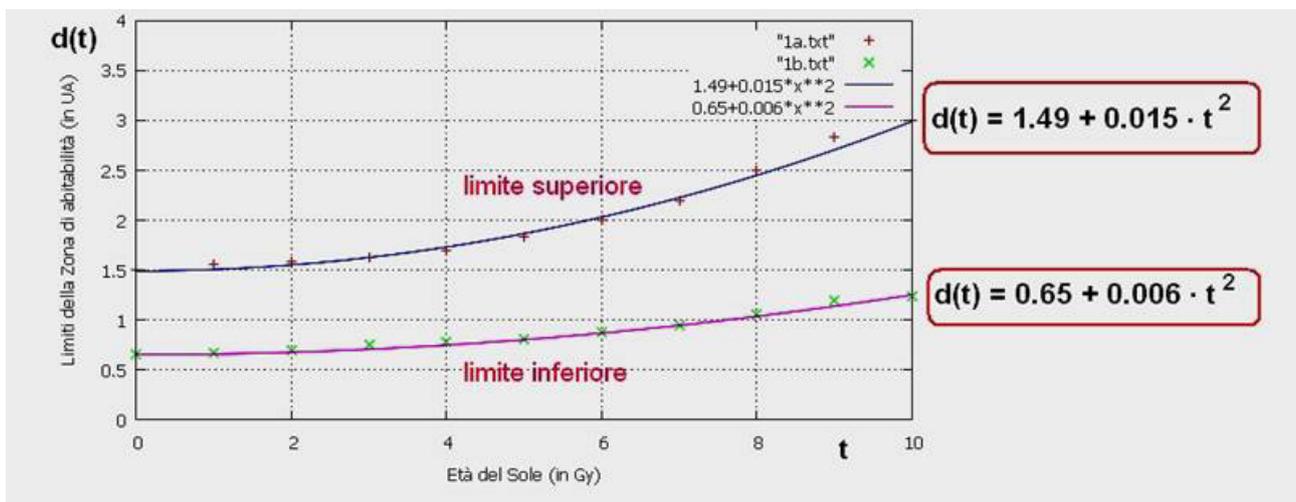
Ma quando tutto ciò avverrà? Per determinare questa epoca basta porre  $d_{inf} = 1$  UA e risolvere l'equazione del limite inferiore della HZ. Il risultato che si ottiene è un'età solare pari a 7.64 Gy. Tenendo conto che il valore conosciuto per l'età del Sistema Solare è pari a  $\tau = (4.5691 \pm 0.0004)$  Gy, se ne ricava che tra 3.1 Gy la vita sulla Terra inizierà ad estinguersi a causa di un insopportabile aumento di temperatura dovuto all'espansione del Sole. Quando questo avverrà, il Sole si sarà espanso del 14% in più rispetto alle attuali dimensioni ma la sua luminosità sarà aumentata del 77% rispetto alla luminosità attuale.

## Conclusioni

Da questa analisi emerge chiaramente che il destino di ogni forma di vita sulla Terra è segnato e anche il genere umano, se nel frattempo non avrà imparato a viaggiare nello spazio in cerca di altri mondi dove stabilirsi e prosperare, o se già non si sarà estinto grazie alla sua stupidità, terminerà miseramente ed inevitabilmente la sua esistenza.

## Bibliografia

S. Dole, *Habitable Planets for Man*, Rand Corporation Editions, 1972.



Andamento temporale del limite inferiore e superiore della zona di abitabilità del Sistema Solare. Le croci indicano i dati ottenuti dalle simulazioni al computer e le linee continue sono le funzioni approssimanti i dati.

L'errore di approssimazione dei dati è dell'ordine di 0.01 UA.

# CIELI CELTICI SERENI! SPERANDO CHE NON CI CADANO SULLA TESTA!

Davide Villa

Ciao a tutti! Siamo finalmente al termine di questo controverso 2045 d.C., se non mi sono incasinato con le date; sapete, il COVID-19 gioca brutti scherzi a volte, ve lo dice chi ne è uscito da poco... Lo scenario: tutto il mercato del fumetto popolare è ormai occupato dai *manga* e *graphic novels*. Tutto? No! Un personaggio resiste ancora e sempre all'invasore...

Come promesso continuo il mio racconto, iniziato nel Bollettino GACB n. 67, questa volta senza prendermi troppo sul serio, per cercare di abbozzare un possibile riscontro tra le avventure degli eroi di Goscinny e ciò che nella realtà è accaduto veramente, facendomi aiutare con due scienze come l'astronomia e la numismatica. I nostri amici Asterix e Obelix avevano circa 35 anni durante lo svolgimento delle loro prove, eh sì, i due ragazzacci erano coetanei, nonostante l'aspetto magari un pochino diverso tra loro, dovuto all'uso della pozione magica del mitico druido Panoramix.



Fig.1 I luoghi di Asterix: La Gallia Transalpina fra realtà e fantasia.

Apro una breve parentesi... L'antica scienza degli astri era definita "astrologia" mentre i druidi erano gli astronomi delle popolazioni celtiche. Nella *Refutatio Omnium Haeresium* di Ippolito si legge:

"I druidi dei Celti hanno studiato assiduamente la filosofia pitagorica... I Celti ripongono fiducia nei loro druidi come veggenti e come profeti, poichè costoro potevano predire certi avvenimenti, grazie al calcolo ed alla aritmetica dei pitagorici."

Quindi possiamo dedurre che i druidi fossero sempre al seguito delle spedizioni galliche e che fossero personaggi fondamentali, sia come riferimento per la navigazione, sia come "alchimisti" e nondimeno come validi consiglieri.

I Galli di Erquy? Sì proprio loro! Questo paesino era a quel tempo un piccolo villaggio dell'Armorica (attuale Bretagna) ma la maggior parte delle loro avventure hanno avuto inizio da un altro villaggio, Gesocribate, che oggi prende il nome di Le Conquet, borgo di mare della Bretagna nonché il comune più a nord-ovest della Francia.

Là dove la terra finisce si sono svolte moltissime delle avventure di Asterix. È proprio in Bretagna che si trova il piccolo villaggio gallico dove vivono i personaggi del fumetto e che si ostina a resistere alla conquista romana, con l'ausilio di una pozione magica. Con un piccolo centro storico ben tenuto, su cui s'affacciano le tipiche case bretoni, per i francesi Le Conquet è una meta di mare con spiagge molto frequentate d'estate. Per noi la temperatura dell'acqua sarebbe troppo fredda ma vale assolutamente una visita. Specie se siete fan del guerriero gallico più famoso del mondo!

Monsieur Galliou nella sua *Histoire de la Bretagne et des Pays Celtiques* (1983) riporta che i Coriosoliti iniziarono a battere moneta dal 90 all'80 a.C. circa, periodo che risulta in ottimo accordo con l'attribuzione dell'immagine riportata sulle loro monete alla Cometa di Halley. Ma cosa avrà spinto a ritenere così importante la presenza in cielo di questa cometa da indurre coloro che governavano i Coriosoliti a disporre la rappresentazione sulle monete?

La Cometa di Halley prende il nome dall'astronomo e matematico inglese Edmond Halley, colui che, con calcoli fisici e matematici, intuì la periodicità di questa cometa e ne predisse il prossimo ritorno nel 1758, cosa che regolarmente avvenne ma che egli non poté verificare di persona, in quanto morì nel 1742. Da quell'anno in poi, la Halley ritorna a trovarci ogni 76 anni circa, circa perché nel suo viaggio nel Sistema Solare la sua orbita viene a volte modificata per effetto dell'attrazione dei pianeti, in particolare di Giove, che ne possono variare la periodicità, anche in ritardo di quasi tre anni o in anticipo di quasi due anni.

I passaggi al perielio documentati nella storia della Halley (il perielio è il punto più vicino al Sole che un corpo celeste assume nel corso della sua orbita, dopodiché inizia ad allontanarsi di nuovo) si riferiscono all'87 a.C. e al 12 a.C.

Secondo gli annali cinesi, tradotti da Ho Peng Yoke, la cometa fu vista nel cielo in direzione est dal 10 agosto all'8 settembre 87 a.C. L'analisi orbitale indica però che in quel periodo la cometa doveva essere visibile in direzione ovest e infatti Kiang nel 1972 suggerì che ci fosse un errore di trascrizione nel lavoro di Ho Peng Yoke, eseguito basandosi probabilmente su fonti secondarie.



*Fig.2 Anepigrapho al dritto: testa umana con naso in epsilon, dalla bocca esce una voluta. Anepigrapho al verso: cavallo stilizzato al galoppo, resti della testa dell'auriga e braccio teso con i resti di un vessillo, tra le gambe un cinghiale.*

Da fonti babilonesi, decifrate da Stephenson nel 1985, la Halley sarebbe stata osservata, giorno dopo giorno, nel mese lunare che andava dal 14 luglio all'11 agosto 87 a.C. Le registrazioni cuneiformi babilonesi riportano anche l'esistenza di una coda visibile nel cielo estesa per circa 10 gradi, 20 volte circa il diametro della Luna piena.

Per quanto riguarda la cometa di Halley nel passaggio del 12 a.C., ne è stata proposta l'identificazione con la cometa dei Magi ma questa è un'opinione minoritaria. Se comunque una tale identificazione fosse confermata, io starei scrivendo nel dicembre del 2045 d.C.!

Ma torniamo ai Celti e chiediamoci il perchè dell'interesse dei Coriosoliti per la cometa di Halley. Per tentare una risposta bisogna ricordare che nella struttura sociale celtica, pur esistendo una classe sociale dominante, la nobiltà guerriera che governava la tribù per mezzo del re, in realtà chi veramente aveva il potere assoluto era la classe religiosa, quella dei druidi alla cui autorità anche il re doveva sottomettersi.

Tra le quattro feste religiose dei Celti una era quella dedicata al dio Lug, celebrata nei primi giorni di agosto. Questa divinità rappresentava il dio della luce, era ritenuta la più importante dell'olimpico celtico ed a lui erano attribuite assoluta sapienza e competenza in tutte le arti e mestieri. Il nome Lug significa "luminoso" ed il suo astro caratteristico era ovviamente il Sole. Usualmente i giorni della festa di Lug erano anche il periodo della grande assemblea di tutte le tribù galliche. È interessante il fatto che il periodo di massima visibilità della Halley nell'87 a.C. sia corrisposto proprio al cadere della festa di Lug.

Paradossalmente la Halley fu ben visibile in cielo per qualche tempo prima della festa di Lug e per qualche tempo dopo di essa ma fu invisibile nei giorni della festa. Cercando di ricostruire l'andamento del fenomeno visibile si osserva che la Halley, di per sé già luminosa, si andò approssimando al Sole man mano che la festa di Lug si avvicinava, sparì nei bagliori solari durante i giorni della festa e si allontanò dal Sole a festa conclusa. Questo fenomeno, straordinario agli occhi di quelle popolazioni, fu probabilmente ritenuto di origine divina e deve aver colpito la fantasia dei druidi, tanto da disporre la rappresentazione sulle monete.



*Fig.3 Taranis, Signore del Tempo, con la sua ruota (altre popolazioni lo chiamarono Giove).*

Da astrofilo alle prime armi quale sono, riguardo alle congiunzioni planetarie ne saprete certamente più di me. La casistica non si esaurisce comunque qui, in quanto è disponibile nelle raccolte numismatiche una quantità molto elevata di monete celtiche sulle quali sono raffigurati oggetti astronomici.

Ad esempio su una moneta d'argento del tipo detto "di Buschelquinar", I secolo a.C., è incisa una configurazione di quattro oggetti immersi in un alone raggiato a forma di spirale. Tale configurazione potrebbe rappresentare una congiunzione planetaria molto luminosa, verificatasi, secondo le simulazioni al computer, nel giugno del 26 a.C., nella costellazione del Leone vicino a Regolo. I pianeti interessati furono Venere, Giove e Saturno e poco distante fu presente anche Marte, inoltre nei primi giorni di giugno la Luna transitò in vicinanza dei pianeti. L'eccezionalità dell'evento avrebbe spinto alla rappresentazione sulla moneta.

Un altro caso interessante riguarda una moneta d'argento di tipo detto "à la Croix" coniata nel I secolo a.C. da popolazioni del sud della Gallia e ritrovata negli scavi dell'Oppidum di Manching in Baviera. Il rovescio della moneta è diviso in quattro quadranti. Su quello di destra è rappresentata probabilmente la falce della Luna. Sul quadrante in basso è rappresentata la falce della Luna con vicino una stella che potrebbe essere una nova o supernova. È anche possibile che si tratti di un pianeta e forse di una cometa visibile ad occhio nudo, con aspetto diffuso ma senza coda visualmente osservabile.

Altro caso interessante è quello relativo ad una moneta in argento coniata presumibilmente nel I secolo a.C. da popolazioni del Norico (l'attuale Austria). Il rovescio della moneta presenta una configurazione formata da quattro stelle. La stella centrale è dotata di quattro raggi e sembra essere la più luminosa delle quattro mentre le altre stelle sono dotate di un solo raggio in direzione radiale rispetto a quella centrale. Sono anche rappresentati dei raggi tra una stella e l'altra che convergono in corrispondenza della stella centrale. L'immagine potrebbe essere la rappresentazione di una nova o una supernova tra le stelle o una congiunzione planetaria.

Un'altra possibile rappresentazione di una cometa si ritrova sul rovescio di una moneta d'argento, imitazione di un Denario romano, risalente al I secolo a.C., e un'altra ancora su una moneta d'oro del tipo Regenbogenschüsselchen, rinvenuta a Irshing (Baviera). Questo reperto

risale alla seconda metà del II sec. a.C. o prima metà del I sec. a.C. e sul suo rovescio potrebbero essere rappresentate due comete.



*Fig.4 Alcune Regenbogenschüsselchen ("scodelle dell'arcobaleno"), così denominate perchè i contadini bavaresi che, nei secoli passati, le rinvenivano, ritenevano fossero originate dall'incontro fra la terra e l'arcobaleno (essendo sepolte, spesso riemergevano dopo la pioggia).*

Sono frequenti anche probabili rappresentazioni di costellazioni, come accade sul rovescio di una moneta in elettro coniata nel II-I sec. a.C. dalla tribù degli Osimi o su una moneta in lega d'oro basso coniata dalla tribù dei Biturigi della Gallia Centrale nel I sec. a.C.

Ad un esame approfondito dei ritrovamenti appare stupefacente la quantità di riferimenti astronomici. Appare sempre più chiaro che l'astronomia ricoprì per le popolazioni celtiche un ruolo fondamentale. Va anche ricordato che siamo probabilmente davanti alla fusione di una cultura astronomica formatasi in Oriente e portata dagli Sciti con una cultura astronomica autoctona che ebbe la sua massima espressione nei monumenti megalitici. La prima con caratteristiche "a tutto cielo" vicine alla astronomia cinese o a quella coreana e con inclinazioni al calcolo riscontrabili nell'astronomia indù e babilonese. La seconda "orizzontale", meno speculativa e più orientata alla misura, soprattutto della posizione del Sole e della Luna.

Anche dall'altro lato del fronte, in quanto a riferimenti astronomici i Romani non sono stati da meno. Sappiamo che all'epoca di Augusto fu emesso un Denario con il ritratto di Cesare Augusto al dritto e al rovescio una rappresentazione di cometa con coda e la scritta "Divus Julius"; in base a ciò la cometa rappresentata su questa serie di Denari non dovrebbe essere quella apparsa in cielo contemporaneamente alla morte di Cesare, come alcune volte si legge.

È possibile che Augusto abbia emesso queste monete argentee dopo 17 anni dalla morte di Cesare con la cometa apparsa in occasione della sua morte? In effetti Svetonio nella Vita di Cesare parla di una cometa apparsa in cielo nei giorni del funerale di Cesare ma perchè rappresentarla dopo così tanti anni?

Una nuova cometa è forse apparsa in cielo dopo che Ottaviano fu nominato Augusto e dedicata postuma alla memoria di Cesare? Sono state fatte delle ricerche in merito e ho trovato

che ad esempio la cometa di Halley è apparsa nel nostro emisfero celeste del Nord nel 12 a.C., quindi potrebbe essere questa la cometa dedicata a Cesare, forse ritenendola la sua anima che tornava e in ricordo di quella apparsa nei giorni della sua morte.

Veniamo al punto in cui prima o poi si doveva arrivare, per la gioia o dolore degli astrofili dei tempi moderni... No no, tranquilli, non è la faccenda dei terrapiattisti ma quella più realistica in cui, dopo aver tanto temuto l'evento, alla fine pare che il cielo sia davvero caduto sulla testa dei Galli. Mi soffermo su questo accadimento perchè ne abbiamo una possibile testimonianza. Stando a Tolomeo, nel 335 a.C., durante la guerra contro i Traci Triballi, Alessandro ospitò una delegazione celtica "da Adria"; Arriano, citando Tolomeo, afferma che il sovrano ricevette amichevolmente i Celti e diede per loro una festa. Erano, dice Arriano, "uomini arroganti nel contegno e di alta statura"; sia Arriano sia Strabone riportano che:

*"Dice Tolomeo Lagide che in questa spedizione si unirono ad Alessandro i Celti della zona di Adria, per rapporti di amicizia e ospitalità. Il re li accolse benevolmente e durante una bevuta gli chiese di cosa avessero particolarmente timore, pensando che avrebbero detto di lui. Ma quelli risposero che non avevano timore di nulla, se non che il cielo gli cadesse addosso."*



*Fig.5 Il Denario con il ritratto di Cesare Augusto al dritto e al rovescio una rappresentazione di cometa con coda e la scritta "Divus Julius".*

Gli ambasciatori celtici tuttavia aggiunsero che essi "ponevano sopra ogni cosa l'amicizia di un uomo come lui". Alessandro, forse un po' sconcertato, stipulò con loro un trattato di amicizia. In seguito, riporta Arriano, Alessandro commentò che, per essere barbari, i Celti avevano un'opinione ridicolmente alta di sé stessi.

Sembra che Alessandro ed i suoi storici abbiano in qualche modo frainteso l'effettivo valore di questa affermazione dei Celti. Mentre indubbiamente dichiaravano in tal modo di non aver paura di Alessandro, essi facevano ricorso a una formula rituale, allo scopo di enfatizzare le loro buone intenzioni e affermare il desiderio di giungere ad una pace fra eguali. Infatti le loro parole costituivano una forma di giuramento che sarebbe stata ritrovata anche un millennio più tardi in alcuni trattati di diritto irlandesi, formula per mezzo della quale un individuo prometteva di mantenere un impegno chiamando in causa la propria incolumità ma anche evocando alcuni elementi naturali.

*"Terremo fede a questa promessa a meno che cada il cielo e ci schiacci, oppure si apra la terra e ci inghiotta, oppure si alzi il mare e ci sommerga."*

A questo punto non mi resta che salutare e ringraziare i rispettivi autori delle immagini e citazioni, tutti gli appassionati di numismatica e astronomia che ho coinvolto finora e la mia insegnante di francese alle scuole medie. Tengo ancora vivo il ricordo dei fumetti della mia gioventù ma anche un po' di malinconia e gratitudine per questi piccoli grandi eroi che ho conosciuto ai tempi delle scuole medie, grazie a lei. Certo, tutti i fumetti ce li faceva leggere in lingua originale!

# PICCOLA ENCICLOPEDIA ASTRONOMICA

## BUCHI NERI: UNA FAMIGLIA DI MOSTRI

*Franco Vruna*

Un buco nero si può definire come una sfera di raggio proporzionale alla massa che vi è contenuta, una zona dello spazio dalla quale nulla può sfuggire. D'altra parte, la materia all'interno della sfera cade inesorabilmente verso il centro del buco nero che quindi, in questo senso, può definirsi come un punto senza dimensioni, analogamente al punto euclideo. La famiglia dei buchi neri ha componenti di tutte le specie e dimensioni, da quelli stellari a quelli galattici.

### **Cos'è un buco nero?**

Per buco nero si intende una regione dello spazio-tempo in cui è presente un campo gravitazionale così intenso che neanche la luce è in grado di sfuggire. Il confine tra questa regione e il resto dello spazio-tempo è il cosiddetto orizzonte degli eventi. Con il termine buco nero si indica anche lo stato finale di stelle o complesse strutture stellari di massa talmente grande da collassare. Con il loro collasso tali strutture producono un campo gravitazionale che caratterizza il buco nero nella prima accezione.

In un certo senso, come spiegato più sopra, le dimensioni di un buco nero dovrebbero essere nulle, come quelle del punto geometrico, ente euclideo. Se si parla delle dimensioni del buco nero ci si riferisce quindi al suo orizzonte degli eventi. Inteso in questo senso, il buco nero ha un raggio di dimensioni che, per quanto piccole siano, non sono nulle.

### **Buchi neri stellari**

Comunque il buco nero venga definito, i modi in cui esso può prodursi sono diversi. In primo luogo un buco nero può prodursi per effetto del collasso di una stella di grande massa. Quando una stella esaurisce il combustibile nucleare che la tiene accesa, essa non è più in grado di mantenersi in equilibrio e, sotto l'azione della propria gravità, collassa diminuendo le proprie dimensioni e aumentando la propria densità.

Quello che accade in queste condizioni è spiegabile con esattezza solo nell'ambito della teoria della relatività generale che, almeno per situazioni estreme come quella che si determina in un buco nero, ha soppiantato la teoria della gravitazione universale di Newton. Se la massa iniziale della stella è maggiore della massa di Chandrasekhar (circa 1.3 masse solari) alla fine della sua esistenza attiva la stella si trasforma in una supernova ed esplodendo rilascia nello spazio parte della sua massa.

Se ciò che rimane della massa dopo l'esplosione è maggiore di 2 masse solari, la relatività generale mostra che non vi è nessuna forza che possa arrestarne il collasso e che tutta la massa della stella finisce per concentrarsi in un punto, una singolarità spazio-temporale caratterizzata da dimensioni nulle. Qui, al centro del buco nero, le leggi della fisica perdono senso e valore: la

curvatura dello spazio-tempo è infinita così come la sua densità.

## **Buchi neri galattici**

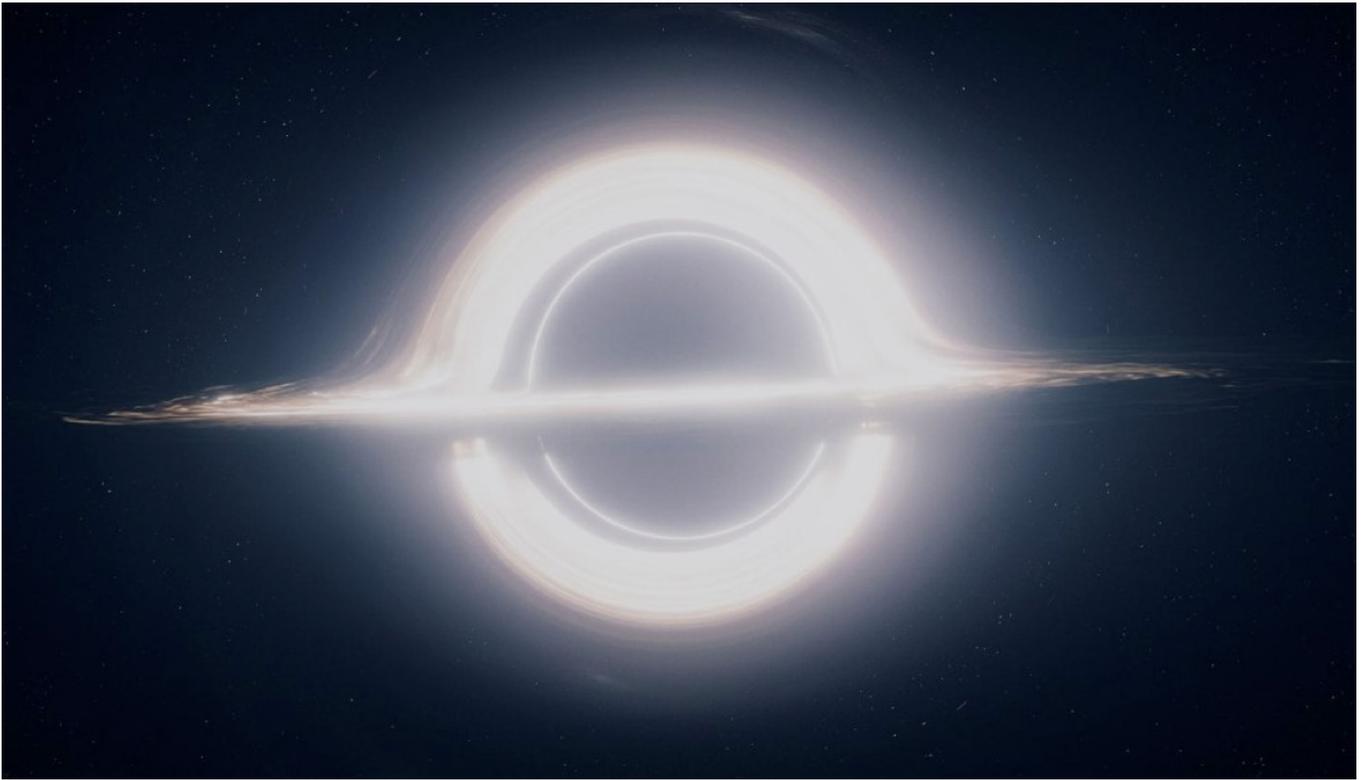
I buchi neri derivanti dal collasso di una stella hanno masse comprese tra 1 e 50 volte quella del sole. Da notare che non è la massa del buco nero a essere infinita ma la sua densità, cioè la grandezza che misura quant'è concentrata la massa. I buchi neri possono prodursi anche per un processo diverso da quello dovuto al collasso di una stella. Per esempio, è praticamente certo che i buchi neri possono formarsi all'interno delle enormi concentrazioni di stelle che si hanno nelle regioni centrali delle galassie e quasi sicuramente anche nella nostra.

Nei nuclei delle galassie le stelle sono molto concentrate ed è facile che possano collidere tra loro. Se le collisioni sono frequenti, si possono formare aggregazioni enormi di massa che possono collassare per effetto gravitazionale e produrre buchi neri di massa compresa tra centomila e un miliardo di masse solari.

## **Buchi neri primordiali**

Oltre ai buchi neri nati dal collasso di singole stelle e ai giganteschi buchi neri che si formano nelle zone ricche di stelle nelle regioni centrali delle galassie, esiste un terzo tipo di buchi neri, i cosiddetti buchi neri primordiali, formatisi nei primi istanti dopo la creazione dell'universo, quando la densità di materia era estremamente alta.

Stephen Hawking, che fu titolare della cattedra un tempo occupata da Newton, calcolò che piccole variazioni di tale densità avrebbero potuto portare alla formazione di buchi neri anche di piccola massa, addirittura minore di quella di un nucleo atomico. La piccola massa dei buchi neri primordiali non deve meravigliare perché ciò che conferisce a un buco nero le sue straordinarie proprietà non è il valore della massa ma quanto la massa è concentrata. Buchi neri primordiali potrebbero esistere ancora oggi ma finora la loro ricerca non ha dato alcun esito.



*Simulazione al computer dell'aspetto di un buco nero galattico. Attorno al buco nero sono visibili il disco di accrescimento (il disco di materia che il buco nero ha attratto a sé) e la fotosfera (i fotoni intrappolati dal buco nero e costretti a ruotargli attorno). Come abbiamo riferito nel Bollettino n. 65, nel 2019 una collaborazione internazionale di radioastronomi è riuscita ad ottenere un'immagine del buco nero al centro della galassia M87, del tutto simile a questa.*

# ASTRO NEWS

*Cristiano Fumagalli*

## **Mai così vicini negli ultimi quattro secoli**

Quasi danzando attraverso il cielo notturno, Giove e Saturno sono stati spettacolari il 21 dicembre, giorno del solstizio d'inverno, quando al tramonto si sono allineati per formare quella che è conosciuta come la "Grande Congiunzione".

## **Quando una galassia muore**

Una galassia incomincia a "morire" quando perde la capacità di formare stelle ma finora gli astronomi non erano mai riusciti ad osservare chiaramente l'inizio del processo. Utilizzando l'*Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array* (ALMA), recentemente però ne hanno vista una che ha perso quasi la metà del gas necessario per la formazione stellare. Questo processo avviene con la velocità di 10.000 masse solari l'anno e così la galassia cederà rapidamente tutto il "carburante" necessario a creare nuovi astri. Si pensa che un tale spettacolare evento sia stato innescato dalla collisione con un'altra galassia e ciò sta facendo ripensare a come questi oggetti finiscano di portare alla luce nuove stelle.

La galassia oggetto dello studio si chiama ID2299 ed è distante 9 miliardi di anni luce; in pratica la stiamo vedendo quando l'Universo aveva "solo" 4.5 miliardi di anni. L'indizio di questa spettacolare perdita è il getto che vedete nella foto; finora la galassia ha rilasciato circa il 46% del suo materiale e alla velocità stimata, avendo una capacità di formazione stellare centinaia di volte superiore alla Via Lattea, lo avrà esaurito in poche decine di milioni di anni. Sempre riguardo al getto in figura, questo è una "coda mareale" ed è l'indizio dell'avvenuta collisione con un'altra galassia.

Maggiori info al link:

[https://www.eso.org/public/news/eso2101/?lang&fbclid=IwAR3\\_aAV8QAip7v4uNACfNNEfYBt6ytldhNXViTMDZUKLjcT\\_w3WjiY8SF8](https://www.eso.org/public/news/eso2101/?lang&fbclid=IwAR3_aAV8QAip7v4uNACfNNEfYBt6ytldhNXViTMDZUKLjcT_w3WjiY8SF8)



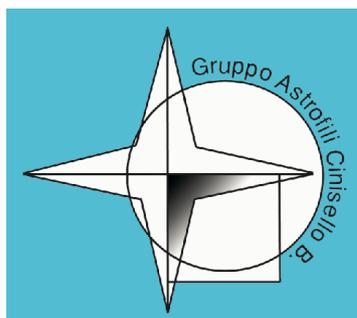
## La Valles Marineris

Forse un giorno gli uomini cammineranno nella Valles Marineris di Marte come fanno nel Grand Canyon terrestre. Potendo sopravvivere su questo pianeta, quale luogo migliore sarebbe per fare un'escursione? Valles Marineris è il canyon più grande del nostro sistema solare. Si estende per 4000 km, quasi un quarto della circonferenza del pianeta. Questa immagine ravvicinata, scattata dal Mars Reconnaissance Orbiter della NASA il 7 novembre 2013, mostra una sua regione chiamata "Tithonium Chasma". Le linee diagonali di sedimenti del canyon potrebbero indicare antichi cicli di congelamento e scioglimento.

Maggiori info alla pagina Facebook della Planetary Society.



*Fonte immagine: NASA/JPL /UArizona.*



# G.A.C.B.

## Gruppo Astrofili Cinisello Balsamo

Sede riunioni Ex scuola Manzoni Via Beato Carino 4 20092 Cinisello Balsamo (MI)

c/o dott. Fumagalli Cristiano via Trieste 20 20092 Cinisello Balsamo (MI)

e-mail: fumagallic@tiscali.it - Cell. 347 4268868 - Cell. 349 5116302 (Ven 21-23)

Sito: <http://gacb.astrofili.org>

Google: [gacb\\_informa@googlegroups.com](mailto:gacb_informa@googlegroups.com)

FaceBook: Gruppo Astrofili Cinisello Balsamo

FaceBook: Osservatorio Astronomico Presolana

Osservatorio: Castione della Presolana - Località Lantana

Planetario: c/o Punto di Vista - Piazza Garibaldi, 18 Muggiò (MB)

**Delegazione UAI per la provincia di Milano**

**GACB e membro di CieloBuio - Coordinamento per la protezione del Cielo Notturno**

### CONSIGLIO DIRETTIVO

**Presidente** - *Cristiano Fumagalli*

**Vicepresidente** - *Nino Ragusi*

**Segretario** - *Mauro Nardi*

**Tesoriere** - *Franco Vruna*

**Consiglieri:**

*Stefano Spagocci*

*Sergio Brighel*

### SEZIONI

**Astrofotografia**

*Cristiano Fumagalli - Matteo Morelli*

**Planetario**

*Nino Ragusi*

**Stelle variabili**

*Stefano Spagocci - Cristiano Fumagalli*

**Tecnica autocostruzione**

*Leonardo "Gianni" Vismara*

**Responsabile Bollettino** - *Stefano Spagocci*

**Impaginazione** - *Nino Ragusi*

---