

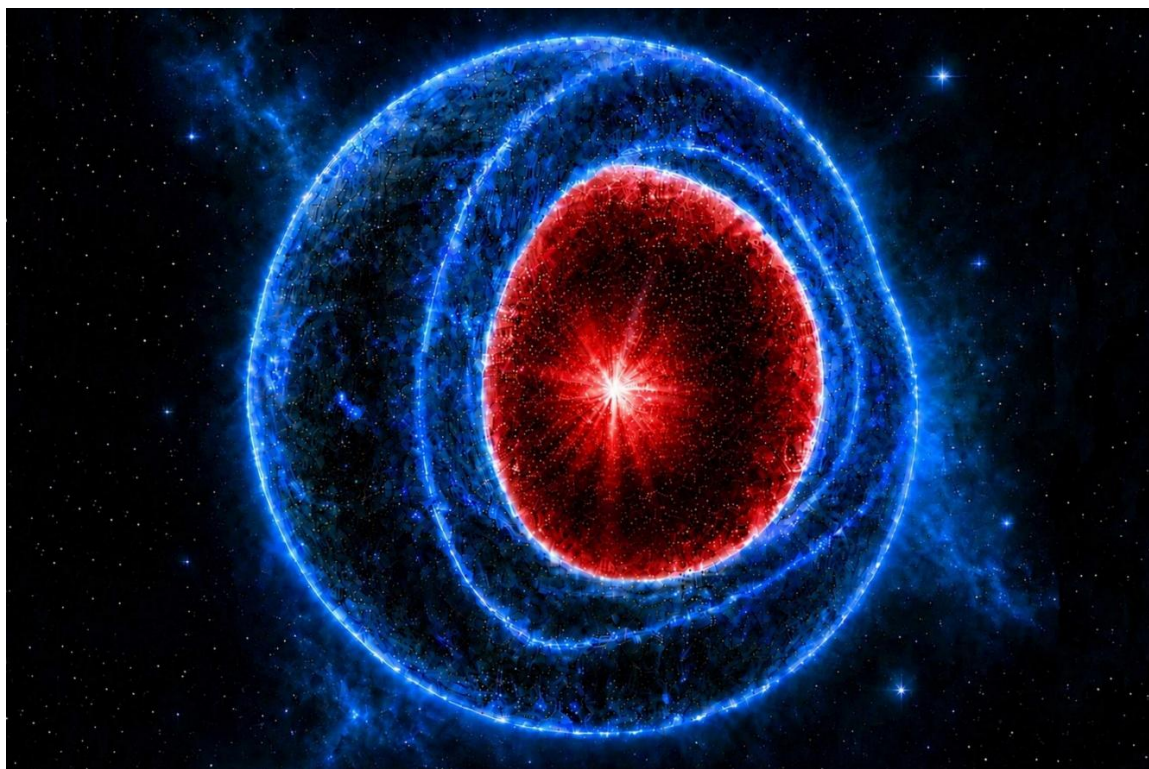
* NOVA *

N. 3011 - 25 LUGLIO 2026

ASSOCIAZIONE ASTROFILI SEGUSINI

GRAVASTAR

Riprendiamo da MEDIA INAF del 16 giugno e del 23 luglio 2026, con autorizzazione, due articoli di Maura Sandri sulle Gravastar.



Un mini-universo in espansione potrebbe controbilanciare la materia in collasso di una stella, creando così una gravastar stabile. Crediti: Daniel Jampolski and Luciano Rezzolla, Goethe University Frankfurt

COSÌ NASCE UNA GRAVASTAR

Il collasso di una stella massiccia non porta necessariamente alla formazione di un buco nero. Due fisici teorici hanno trovato una soluzione alle equazioni della relatività generale di Einstein che descrive la possibile nascita di una gravastar. Durante il collasso, si formerebbe un mini-universo la cui espansione, guidata dall'energia oscura, contrasterebbe la gravità, dando origine a un oggetto ultracompatto e stabile.

Le stelle brillano perché al loro interno avviene la fusione nucleare, che libera energia. Quando una stella massiccia esaurisce il proprio combustibile nucleare, la pressione di radiazione non è più in grado di controbilanciare la gravità e l'astro collassa fino a ridursi a un unico punto: la cosiddetta singolarità. Sebbene la formazione di un bucio nero appaia plausibile, i buchi neri restano una sfida notevole per la scienza. Come possono dieci miliardi di masse solari concentrarsi in un unico punto minuscolo? Come

NEWSLETTER TELEMATICA APERIODICA DELL'A.A.S. - ASSOCIAZIONE ASTROFILI SEGUSINI APS – ANNO XXI

La Nova è pubblicazione telematica aperiodica dell'A.A.S. - Associazione Astrofili Segusini APS di Susa (TO) riservata a Soci e Simpatizzanti.

È pubblicata senza alcuna periodicità regolare (v. Legge 7 marzo 2001, n. 62, art. 1, comma 3) e pertanto non è sottoposta agli obblighi previsti dalla Legge 8 febbraio 1948, n. 47, art. 5. I dati personali utilizzati per l'invio telematico della Nova sono trattati dall'AAS secondo i principi del *Regolamento generale sulla protezione dei dati* (GDPR - Regolamento UE 2016/679).

www.astrofilisusa.it

può lo spaziotempo curvarsi all'infinito in quel punto? Lì, nella singolarità, le leggi della fisica crollano, rendendo impossibile prevedere ciò che accade. Inoltre, i buchi neri nascondono ogni informazione all'osservatore: tutto, compresa la luce, scompare irrimediabilmente oltre l'orizzonte degli eventi.

È possibile che i buchi neri siano in realtà oggetti completamente diversi, come **stelle ultracompatte** che non possono essere osservate a causa della loro intensa gravità e, per questo, vengono chiamate **gravastar**. Oltre alla materia ordinaria presente nei loro strati esterni, sarebbero colme di energia oscura, che esercita una pressione verso l'esterno e ne stabilizza la massa, altrimenti tendente a collassare. Le gravastar sono più facili da accettare per i fisici rispetto ai buchi neri perché non coinvolgono né una singolarità né un orizzonte degli eventi e, tuttavia, sono quasi altrettanto massicce e compatte. Ciò che era rimasto poco chiaro, tuttavia, era come tali oggetti potessero formarsi in pratica.

I due fisici teorici **Daniel Jampolski** e **Luciano Rezzolla** della Goethe University hanno ora presentato per la prima volta una soluzione dinamica alle equazioni di campo della relatività generale di Albert Einstein che descrive il collasso di una stella e la possibile formazione di una gravastar. La soluzione – pubblicata su Physical Review D – mostra come il collasso possa innescare la creazione di un mini-universo all'interno della materia che collassa, non molto diversamente dal Big Bang da cui è emerso il nostro universo. E come per il nostro universo, anche la sua espansione è guidata dall'energia oscura.

In questo modo, l'espansione del nuovo universo contrasta le forze gravitazionali e arresta il collasso della stella prima che possa formarsi un buco nero. Si instaura così un equilibrio tra il mini-universo in espansione e la materia in collasso, ed è proprio questo equilibrio a dare origine a una gravastar stabile. Con questa soluzione alla relatività generale, i fisici di Francoforte hanno fornito **la prima risposta a una domanda dibattuta da 25 anni**: come si formano le gravastar durante il collasso della materia ordinaria? «Il Big Bang dell'universo nascente può verificarsi quando la stella è già collassata quasi al punto da diventare un buco nero», spiega Jampolski, che ha scoperto la soluzione nella sua tesi di laurea magistrale sotto la supervisione di Rezzolla, professore di astrofisica teorica alla Goethe University. Il comportamento della materia estremamente compressa, ancora non compreso, lascia spazio a una nuova fisica: «È più facile immaginare che il Big Bang avvenga solo in una fase molto avanzata, quando la materia è già stata compressa a un livello estremo, dando così origine a nuovi effetti».

«Cercare alternative ai buchi neri non dovrebbe suggerire scetticismo nei loro confronti, poiché essi rappresentano ancora la soluzione più naturale e semplice al destino del collasso gravitazionale», conclude Rezzolla. «Tuttavia, come scienziati in generale, e come fisici teorici in particolare, è essenziale mantenere un approccio imparziale verso ciò che non conosciamo ed esplorare quindi sia l'opinione diffusa sia le interpretazioni più esotiche. La storia ci insegna che non è insolito che queste ultime diventino le prime».

Maura Sandri

(da *MEDIA INAF* del 16/06/2026)

STELLE SUL FILO DELL'ORIZZONTE DEGLI EVENTI

Al limite dell'orizzonte degli eventi potrebbero esistere le gravastar, oggetti celesti stabili in equilibrio tra il collasso in una singolarità gravitazionale e l'espansione perpetua, indistinguibili dai buchi neri se non tramite l'osservazione delle onde gravitazionali che potrebbero generare. Riprendendo l'articolo uscito qualche settimana fa su Physical Review D, approfondiamo queste strane stelle con una intervista a Luciano Rezzolla (Goethe-Universität Frankfurt), uno degli autori.

Dimenticatevi i buchi neri e apritevi a uno scenario che, per quanto poco probabile, non è impossibile. Parliamo di “stelle” che vivono al limite dell'orizzonte degli eventi, come acrobate sul filo sottile che separa due destini opposti: l'implosione in una singolarità e l'espansione perpetua. Sono le **gravastar**, oggetti plausibili, indistinguibili dai buchi neri se non per le onde gravitazionali che sarebbero in grado di generare.

Ne abbiamo già parlato qualche settimana fa, presentandovi un [articolo](#) uscito su *Physical Review D*, e oggi vi proponiamo un approfondimento con uno degli autori, **Luciano Rezzolla**, astrofisico della [Goethe University](#) di Francoforte: per capire come si potrebbero formare, come si potrebbero distinguere e come un giorno, forse, smetteranno di sembrarci così esotiche. Perché – parafrasando l'autore – la naturalezza è un concetto moderno, che dipende dai tempi: ciò che è naturale oggi può diventare innaturale domani, e viceversa.

Se ho capito bene, l'ipotesi è che ciò che chiamiamo buco nero possa in realtà essere un oggetto di natura diversa: una stella ultracompatta priva sia di una singolarità centrale sia di un orizzonte degli eventi, quasi altrettanto massiccia e densa di un buco nero. È corretto?

«Se si porta all'estremo quello che abbiamo scritto nell'[articolo](#), potreste anche interpretarlo così. In realtà, noi siamo molto più cauti: quello che diciamo è che, **in aggiunta ai buchi neri**, il collasso gravitazionale potrebbe dare vita a qualcos'altro. In genere, i buchi neri sono associati a un collasso gravitazionale, fenomeno che si verifica spesso in astrofisica: è il modo in cui le galassie e le stelle vengono prodotte. C'è una nube di gas e polveri la cui gravità diventa sufficientemente forte da farla contrarre. Questo dà vita a reazioni che, a loro volta, creano un bilanciamento. Nel caso delle stelle, questo bilanciamento è dato dalla pressione, legata alla temperatura, a sua volta legata alle reazioni termonucleari. La visione comunemente accettata – e del resto molto ragionevole – è che i buchi neri si producano quando, per esempio, una stella molto massiccia collassa, magari dando luogo a una supernova, e il suo nucleo implode, raggiungendo densità così alte che non esiste pressione in grado di resistere. Il punto è che il gioco di aumentare la pressione per compensare un campo gravitazionale sempre più forte non si può giocare all'infinito: più aumenta la pressione, più aumenta anche la gravità, perché la pressione è una forma di energia e quindi, a sua volta, genera un campo gravitazionale. È per questo che nelle stelle di neutroni c'è una massa massima: non si può accumulare massa all'infinito, perché ogni volta che si aggiunge un po' di massa alla stella, aumenta anche la pressione, ma questo genera un campo gravitazionale sempre più intenso, finché a un certo punto la pressione è insufficiente a contrastare la gravità e la stella soccombe a un collasso gravitazionale. In questo scenario, sembra che l'unico esito possibile per un oggetto con una gravità così forte sia quello che conduce a un buco nero. Ci sono teoremi famosi, come quello di Penrose, secondo cui a quel punto il collasso è inevitabile e porta a una singolarità: una singolarità che si pensa essere “coperta” – ossia nascosta – da un orizzonte degli eventi. Fin qui siamo su un terreno accettato e piuttosto solido, che pensiamo funzioni nella gran parte delle situazioni fisiche. La gravità, però, ci insegna anche un'altra cosa: con della materia “strana” è possibile ottenere l'effetto opposto al collasso, ossia è possibile avere un'espansione. Questo accade quando la materia ha una densità di energia positiva, come quella a cui siamo abituati, ma una pressione negativa; e una pressione negativa si comporta come una sorta di antigravità. Così, un oggetto fatto di questa materia, invece di collassare, tende naturalmente a espandersi».

Prima di andare avanti: questa materia “strana” è un'invenzione teorica costruita ad hoc, oppure è qualcosa che i fisici già conoscono da altri contesti?

«In realtà, l'abbiamo già incontrata nella storia dell'universo. Questo è avvenuto durante l'[inflazione](#), uno dei cardini della cosmologia moderna, che ne richiede la presenza. L'espansione esponenziale che si pensa si sia verificata durante l'inflazione si fonda proprio su una pressione negativa, dello stesso tipo di quella associata alla costante cosmologica. La costante cosmologica, infatti, è un esempio di equazione di stato in cui la pressione è negativa e la densità di energia positiva; e la relatività generale ci dice che, in questo caso, lo [spaziotempo](#) invece di collassare, si espande. Quello che abbiamo provato a fare noi è, in un certo senso, **mescolare le carte**: cosa succede se diamo a un piccolo universo la possibilità di formarsi al centro di una stella che sta collassando? Una delle possibilità che abbiamo trovato è che si riesca a raggiungere un equilibrio: mentre l'universo interno tende a espandersi e la stella tende a collassare, a un certo punto queste due tendenze opposte si incontrano e possono produrre un oggetto stabile, la cui superficie si trova estremamente vicina all'orizzonte degli eventi, ma appena al di fuori di esso».

Ha detto che la superficie si trova appena al di fuori dell'orizzonte degli eventi. Vuol dire che, a differenza di un buco nero, una gravastar la si potrebbe vedere?

«La ragione per cui un orizzonte degli eventi non è visibile è che il redshift che si realizza vicino a questa superficie è elevatissimo e diventa infinito proprio sull'orizzonte. Queste soluzioni di gravastar hanno una superficie che è arbitrariamente vicina all'orizzonte, quindi il loro redshift non è infinito, ma resta comunque molto grande. Quindi, a tutti gli effetti, se si pensa all'emissione di radiazione, ossia di fotoni, questi avrebbero gli stessi problemi di un buco nero: se ci mettessimo sulla superficie di una gravastar e cercassimo di mandare luce verso l'esterno, ci riusciremmo, ma quella luce impiegherebbe un tempo quasi infinito per raggiungere qualsiasi osservatore distante. È per questo che questi oggetti vengono chiamati *black hole mimickers*: imitano il comportamento dei buchi neri, ma non sono buchi neri. Quello che abbiamo fatto con questo recente lavoro è mostrare che l'idea di gravastar – che non abbiamo inventato noi, bensì è stata proposta più di 20 anni fa da Pawel Mazur ed Emil Mottola – può essere prodotta in modo dinamico. Mazur e Mottola, però, si erano limitati a postulare l'esistenza di tale soluzione. Succede spesso: si trova una soluzione, ma non ci si preoccupa di individuarne la genesi. E a noi non bastava, così ci siamo messi a studiare proprio come produrne una a partire da condizioni iniziali ragionevoli».

Quindi cosa avete fatto?

«Il problema, da un punto di vista matematico, è che abbiamo uno spaziotempo composto da tre parti: una regione interna, che contiene questa materia strana; una parte data dalla materia ordinaria e che sta collassando; e infine una terza parte, che è il vuoto. Bisogna immaginare che questi tre pezzi possano muoversi e che anche i confini tra l'uno e l'altro possano muoversi. In particolare, la parte esterna della stella si dirige verso raggi sempre più piccoli – sta collassando –, mentre la regione interna, di tipo *de Sitter* – ossia un universo in cui è presente una costante cosmologica positiva – si espande. A un certo punto, quindi, le due regioni si incontreranno. Abbiamo mostrato matematicamente che soluzioni di questo tipo sono possibili e che una soluzione simile richiede un *fine tuning* molto preciso, ossia una scelta molto oculata delle condizioni iniziali. In altre parole, non è affatto facile che un oggetto del genere si formi. Questi oggetti in equilibrio, in particolare, si collocano su una separatrice, cioè su **un confine sottile tra due esiti opposti**. Da un lato c'è il caso in cui l'universo interno prova a espandersi ma non ce la fa, viene sopraffatto dalla materia che gli cade addosso e il risultato finale è un buco nero. Dall'altro lato c'è il caso opposto, in cui l'espansione è così violenta che la materia non riesce a fermarla e prosegue senza sosta. La gravastar sta esattamente in mezzo, su quell'equilibrio delicatissimo che devi centrare perché queste condizioni si realizzino. Quindi, quello che abbiamo dimostrato è che sì, è possibile, ma serve una scelta estremamente accurata delle condizioni iniziali. In altre parole: i buchi neri restano il modo più semplice e naturale per immaginare che cosa avviene in un collasso, ma creare dinamicamente una gravastar non è impossibile. Vorrei sottolineare che nel nostro studio non abbiamo fatto alcuna assunzione strana, né abbiamo inventato una teoria nuova. Abbiamo semplicemente usato la relatività generale e questa materia un po' speciale che in cosmologia è però normalmente accettata. Insomma, abbiamo trovato qualcosa di nuovo senza ricorrere a nulla di esoterico: usiamo soltanto quella che i cosmologi chiamano energia oscura».

Avete un'idea di quanto sia probabile che in natura si verifichino le condizioni giuste? È qualcosa che si può quantificare?

«Da un punto di vista matematico servono condizioni iniziali infinitamente accurate: una volta fissate quelle dell'universo che deve nascere, devono essere note con precisione infinita. Tuttavia, allo stesso tempo, si hanno a disposizione un'infinità di scelte possibili con cui produrlo. È il punto delicato: per ciascuna di queste scelte bisogna essere estremamente precisi, ma le opzioni sono comunque infinite. Ed è per questo che tradurre tutto ciò in una probabilità è molto difficile».



Dal punto di vista osservativo, abbiamo oggi o in futuro un modo per capire se ci troviamo di fronte a un buco nero o a una gravastar?

«Se ci affidiamo unicamente alla radiazione elettromagnetica – quindi alla luce, che sia ottica, raggi X o radio – la differenza sarebbe infinitamente piccola, perché posso sempre costruire una gravastar che assomiglia a un buco nero. Potrei accorgermi della differenza, però, una volta terminato il collasso, andando a perturbare questi oggetti. Se, per esempio, ci “buttassi sopra una pietra”, i due oggetti reagirebbero in modo molto diverso. Entrambi produrrebbero onde gravitazionali perché sono estremamente compatti, ma la frequenza di tali onde e il modo in cui le perturbazioni si smorzano sarebbero profondamente diversi. Ecco perché potremmo accorgercene studiando le onde gravitazionali, e non i fotoni: **l'unico modo per cogliere la differenza è proprio attraverso le onde gravitazionali**. Questa è la conclusione di un articolo che scrissi con una studentessa, Cecilia Chirenti, circa 20 anni fa, il cui titolo è *How to tell a gravastar from a black hole*».

Insomma, quello che oggi ci sembra esotico domani potrebbe non esserlo più. Come immagina che cambierà il nostro sguardo su questi oggetti nei prossimi decenni?

«Io non sono uno scettico dei buchi neri, come invece ce ne sono tanti. Trovo che i buchi neri siano ancora la spiegazione più naturale. Però la naturalezza è un concetto moderno, che dipende dai tempi: ciò che è naturale oggi può diventare innaturale domani, e viceversa. Un esempio: un tempo i buchi neri stessi venivano considerati innaturali, esotici, addirittura impossibili da produrre; oggi, invece, li accettiamo con grande tranquillità come una possibilità concreta. Queste gravastar sono oggetti che adesso ci sembrano un po' strani, ma forse tra cinquant'anni, quando avremo capito meglio che cosa accade nei regimi in cui una stella sta davvero per diventare un buco nero, ci sembreranno meno strane – perché è proprio in quei regimi che oggi non abbiamo una conoscenza precisa della fisica. Insomma, in futuro potrebbero apparirci più naturali».

Maura Sandri

(da *MEDIA INAF* del 23/07/2026)

<https://www.media.inaf.it/2026/07/23/gravastar-luciano-rezzolla/>

Daniel Jampolski and Luciano Rezzolla, “Formation of gravastars”, *Physical Review D*, 113, L121502, Published 11 June, 2026



Secondo le scoperte dei fisici dell'Università Goethe di Francoforte, una gravastar potrebbe assomigliare a una matrioska.

Crediti: Daniel Jampolski e Luciano Rezzolla (Goethe University Frankfurt)

<https://aktuelles.uni-frankfurt.de/en/english/a-star-like-a-matryoshka-doll-new-theory-for-gravastars/>

Daniel Jampolski and Luciano Rezzolla, “Nested solutions of gravitational condensate stars”, *Classical and Quantum Gravity*, Volume 4, Number 6, Published 15 February 2024