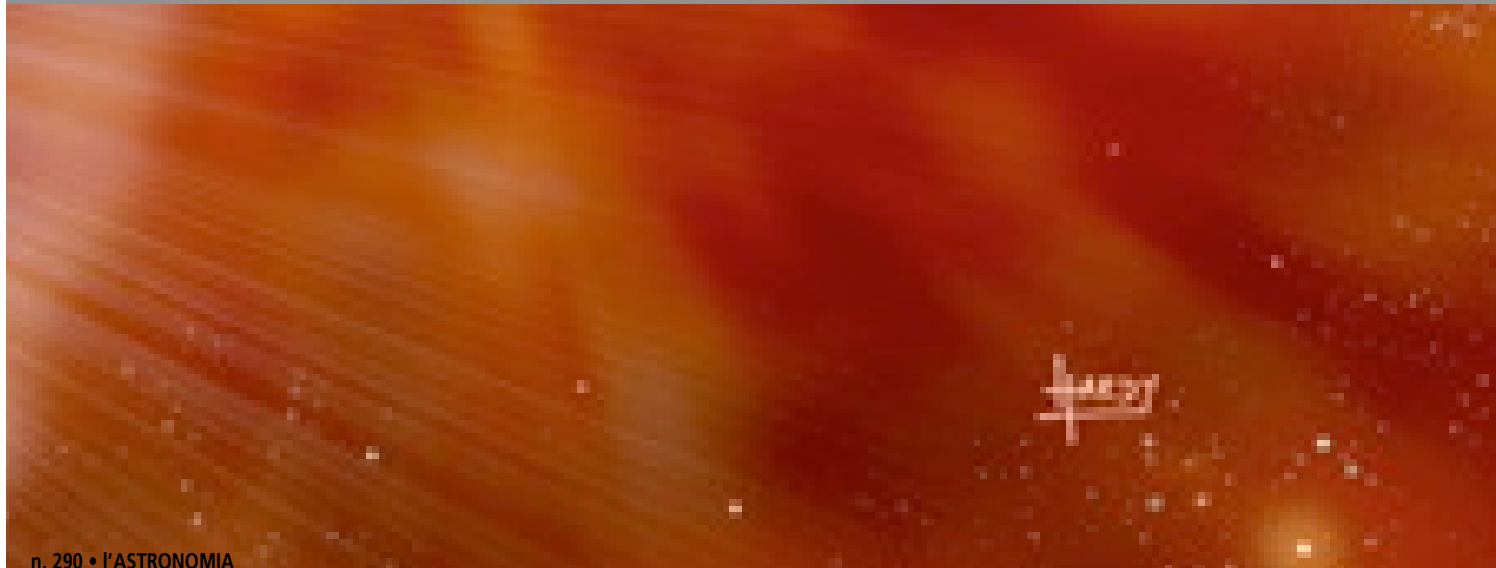
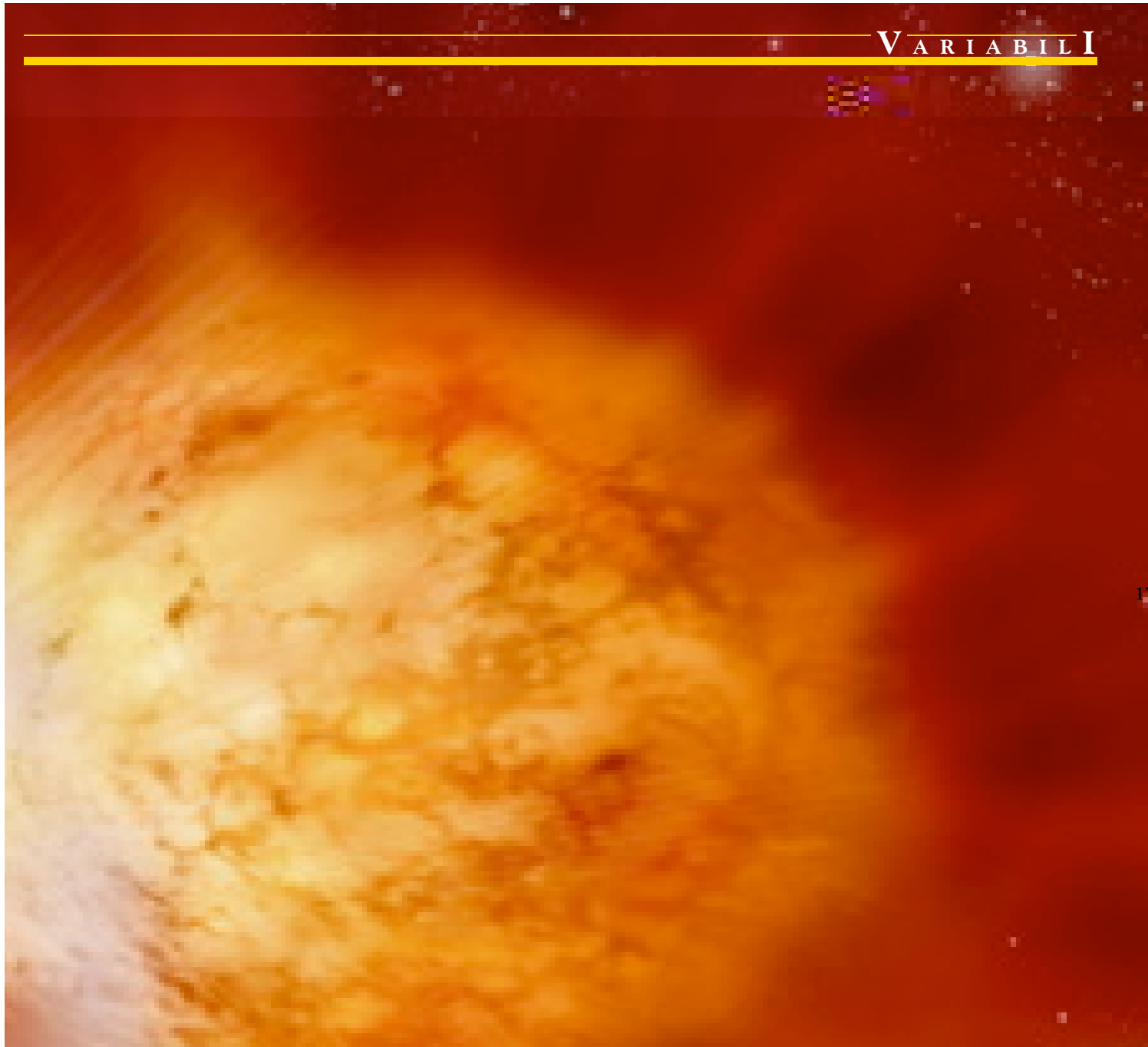


# *Novae, eruzioni nell'oscurità*

6  
di Carlo Ferri



Eppure, analisi sempre più approfondite hanno messo in evidenza la necessità di dover considerare il sistema stellare nella sua totalità per capirne i singoli fenomeni. I piccoli passi compiuti dalla ricerca hanno fatto di questi studi una delle aree più appassionanti dell'astrofisica moderna, sebbene quelli coinvolti siano tra i processi di più difficile interpretazione che caratterizzano l'universo.

## La variabilità delle stelle

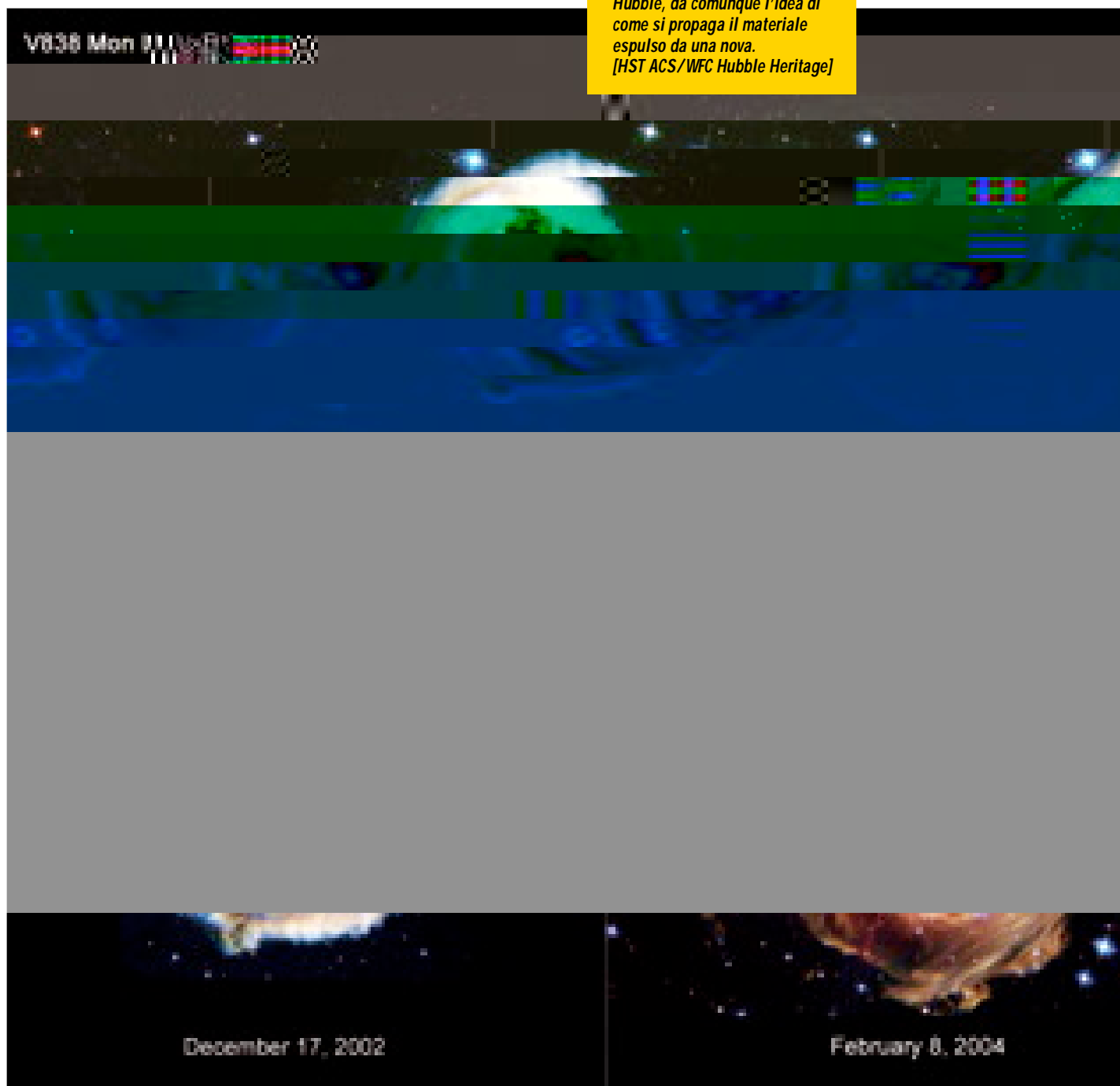
Se gli antichi filosofi avessero avuto ragione riguardo l'eternità e invariabilità delle stelle, l'astronomia sarebbe oggi la più

tediosa delle discipline scientifiche. Per fortuna, però, le loro affermazioni erano completamente inesatte e sebbene il cielo si presenti anno dopo anno imperturbabile, in realtà le stelle sono oggetti variabili molto interessanti. Se per alcune di esse la variabilità è minima e impercettibile, per le stelle novae e per le supernovae è invece lampante.

*Evoluzione dell'espansione del materiale espulso da V838 Monocerotis. Inizialmente classificato come residuo di nova, secondo studi recente potrebbe invece essere qualcosa di sostanzialmente diverso, non ancora conosciuto. L'immagine, ottenuta dal telescopio spaziale Hubble, dà comunque l'idea di come si propaga il materiale espulso da una nova. [HST ACS/WFC Hubble Heritage]*

Il modello più in auge nel rappresentare una stella è quello che considera la presenza di perturbazioni

8





esterne capaci di concentrare atomi diffusi nello spazio interstellare in un punto preciso.

Semplificando, queste particelle cominciano così un pro-

cesso di condensazione che, sotto l'effetto della forza di gravità, formerà una stella, una grande sfera costituita da gas incandescenti capaci di risplendere grazie all'energia che essi stessi spri-

gionano. Tale forza garantisce l'esistenza dell'oggetto durante milioni o miliardi di anni, evitando che i suoi atomi si disperdano verso lo spazio esterno per effetto della pressione generata dalle alte temperature interne. Quindi, in una stella le due componenti di forza gravitazionale e pressione si vengono a trovare in perfetto equilibrio reciproco, preservando la stabilità. Se così non fosse, una stella come il Sole, ad esempio, smetterebbe di esistere dopo brevissimo tempo dalla sua nascita.

Sebbene questo bilanciamento tra forze faccia pensare a una staticità degli astri nei secoli, durante determinate fasi della loro evoluzione la struttura delle stelle può trovarsi in condizioni di instabilità. L'effetto di questo comportamento si osserva dalla Terra come variabilità della luminosità dell'oggetto, risultato di cambi impressionanti nella morfologia della stella. In effetti, per gli astronomi l'unico mezzo diretto per studiare gli oggetti celesti è l'energia luminosa che essi emettono, attraverso la quale (e grazie a modelli fisico-matematici) è possibile dedurre anche altre proprietà dovute sia alla composizione interna sia all'ambiente che circonda la stella.

Facendo uso di questi strumenti, gli astronomi hanno così individuato due tipi di variabilità: la variabilità estrinseca e quella intrinseca. La prima è dovuta a proprietà esterne, come ad esempio le eclissi prodotte dal transito di altri oggetti che si interpongono periodicamente tra l'oggetto e l'osservatore; la seconda è invece il risultato di variazioni nelle proprietà fisiche dell'astro. In quest'ultimo caso la variazione può essere costante e regolare o addirittura eruttiva. Il metodo più semplice e immediato per analizzare una variabilità luminosa è quella di disegnare un grafico che contenga i valori di magnitudin  $1460.36 \cdot 2938.78 \text{ Tr}$



luce, che descrive il comportamento variabile dell'oggetto. In particolare, la differenza tra i punti di massimo e minimo di luminosità definisce l'ampiezza della variazione e, se l'evento è ciclico, il periodo con il quale questo si ripete. Inoltre, il differente andamento delle curve di luce e le proprietà chimico-fisiche degli astri permettono persino di caratterizzare l'oggetto e di capire se si tratta di una variabile di tipo pulsante (Cefeidi, RR Lyrae etc.) o di tipo eruttivo (novae e supernovae).

L'area dell'astrofisica che studia quest'ultima classe di oggetti ha fatto negli ultimi anni passi da gigante, grazie soprattutto alla messa in orbita attorno alla Terra di nuovi osservatori, in particolare di quelli capaci di rilevare le emissioni di alta energia provenienti da quei corpi celesti. Satelliti a raggi X come il nordamericano Einstein, l'italo-olandese BeppoSAX e i più recenti Chandra (della NASA) e l'europeo XMM-Newton hanno fornito una quantità impressionante di dati sui fenomeni esplosivi, impen-

grazie all'uso di telescopi ottici, e solo l'avvento di nuove tecnologie durante la seconda metà del secolo scorso ha permesso di estendere l'osservazione anche ad altre finestre dello spettro elettromagnetico, dal radio fino ai raggi gamma. In questo ambito, gli studi realizzati con i telescopi orbitali Chandra e XMM-Newton stanno risultando imprescindibili per la comprensione delle proprietà delle esplosioni di novae, così come dei sistemi precursori, le variabili cataclismiche, considerate ottimi laboratori celesti dove poter realizzare test su studi teorici che abbracciano le diverse aree della fisica, dalle reazioni nucleari all'idrodinamica, dal trasferimento radiativo alla struttura delle nane bianche e, più in generale, di altri oggetti compatti, come stelle di neutroni e buchi neri.

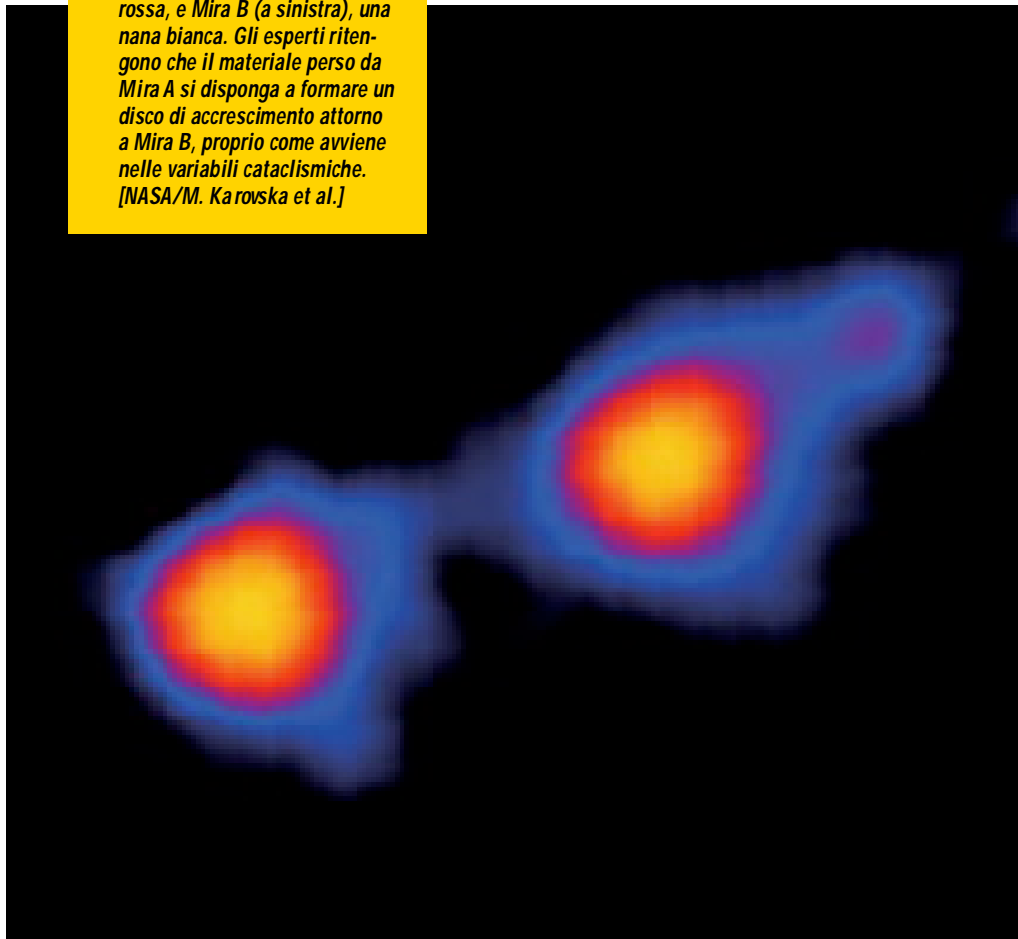
## Fossili dell'universo

Anticamente, quando un nuovo oggetto celeste appariva nella volta celeste, lì dove precedentemente non veniva rilevata alcuna sorgente luminosa, gli astronomi parlavano di *nova stella*. In realtà, questa non era una nuova componente del firmamento, quanto piuttosto una stella già esistente che, improvvisamente, diventava migliaia o milioni di volte più luminosa e di conseguenza risultava visibile dal nostro pianeta.

Per molto tempo il termine "nova" fu usato indistintamente per qualsiasi oggetto che mostrasse un aumento eccezionale di luminosità, e fu adottato per la prima volta dall'astronomo Tycho Brahe quando scoprì non una nova bensì una supernova, quella che tutt'oggi porta il suo nome ed è ubicata nella costellazione di Cassiopea. Solo successivamente, e grazie a osservazioni più precise basate su proprietà fisiche e chimiche, si iniziò a considerare la distinzione tra le novae e le più potenti supernovae. Tuttavia, in questo contesto ci riferiamo alle *novae classiche*, ovvero quelle novae il cui valore di luminosità nell'ottico è molto elevato rispetto alla fase precedente l'esplosione. Esistono, infatti, altre novae meno energetiche alle quali viene affiancato un aggettivo differente (*novae nane*, *novae ricorrenti* e *sistemi tipo novae*). Normalmente, però, in ambito astronomico, quando si parla di novae ci si riferisce alle classiche a

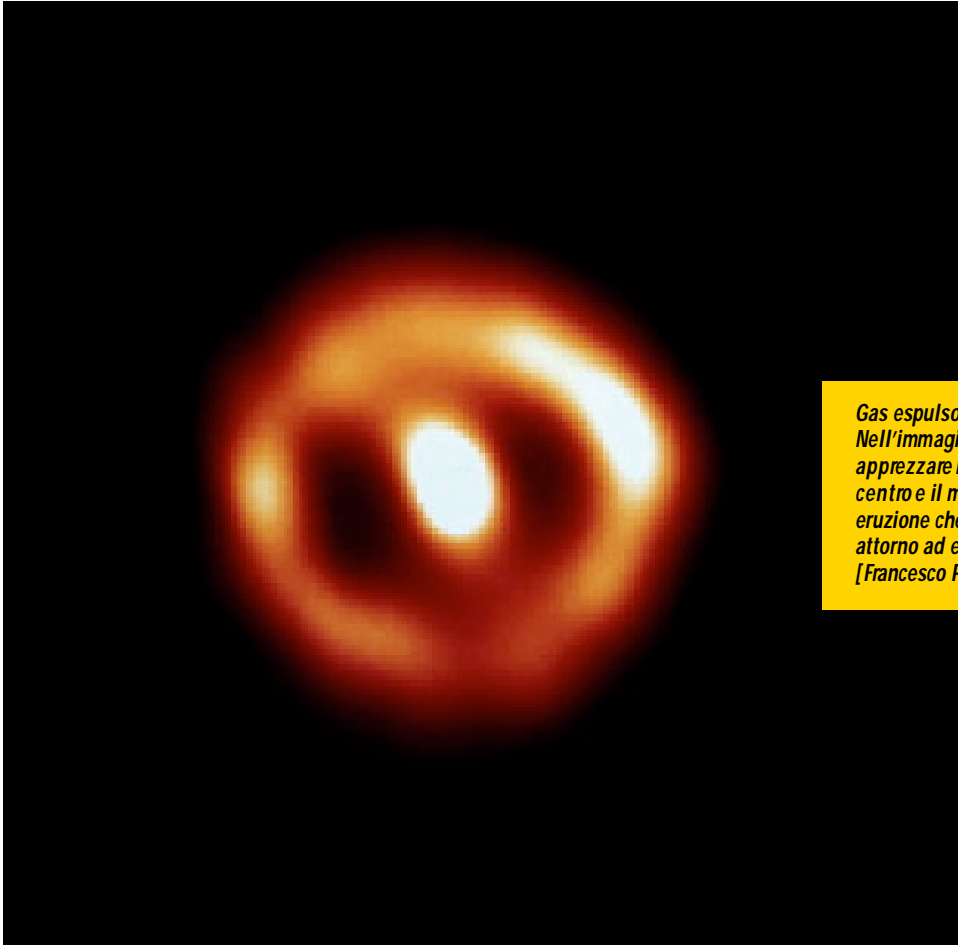
meno di un'eventuale precisazione. Nella pratica, una nova non è altro che una variabile cataclismica, ovvero un sistema binario nel quale una stella (secondaria) gira attorno a una nana bianca (primaria). La caratteristica più singolare che contraddistingue queste coppie di oggetti è che la componente meno evoluta (la secondaria) subisce un processo abbastanza diffuso nell'universo,

Immagine nell'ultravioletto ottenuta dall'Hubble Space Telescope che mostra l'interazione tra le stelle Mira A (a destra), una stella gigante rossa, e Mira B (a sinistra), una nana bianca. Gli esperti ritengono che il materiale perso da Mira A si disponga a formare un disco di accrescimento attorno a Mira B, proprio come avviene nelle variabili cataclismiche. [NASA/M. Karovska et al.]



sabili fino a cinquant'anni fa. In questo contesto, l'osservazione delle novae ha fornito molte informazioni importanti sulla comprensione del fenomeno e sulle proprietà del materiale espulso, e anche la valutazione del suo impatto sull'evoluzione chimica della galassia che lo ospita.

Storicamente, i primi studi vennero realizzati esclusivamente



**Gas espulso dalla Nova Cygni 1992.**  
*Nell'immagine realizzata dall'HST si può apprezzare la stella ancora luminosa nel centro e il materiale rilasciato dopo la sua eruzione che si propaga con forma sferica attorno ad essa.*  
 [Francesco Pasce, ESA/STScI & NASA]

mente impossibile predire un fenomeno eruttivo. Nonostante ciò, l'analisi attenta di zone del cielo può aiutare a identificare questi oggetti, comparando immagini della stessa regione realizzate prima e dopo che l'evento si sia verificato. Per questo motivo il ruolo ricoperto dagli astrofili nell'osservazione delle stelle variabili è indispensabile: essi, infatti, non solo effettuano misure essenziali per studiare l'evol-

uzione delle stelle ma soprattutto possono realizzare importanti scoperte.

Seppur limitato da vari fattori, il loro

lavoro costituisce così un notevole contributo alla conoscenza del cosmo.

Un'esplosione di nova è conseguenza della fusione di idrogeno in modo deflagrante localizzato sulla nana bianca, che "mangia" materia dalla stella compagna. Il fenomeno è provocato da una "valanga" di reazioni nucleari sulla superficie dell'oggetto compatto, che causa l'espulsione di una frazione di materiale lì precedentemente depositato.

quello della perdita di massa. Posizionata a una distanza misurabile in frazioni di unità astronomica, la secondaria inizia a rilasciare alla primaria parte del gas del quale è costituita. Attraverso un gioco di forze gravitazionali e centrifughe tra le due stelle, il gas viene trasferito sviluppando un disco (il cosiddetto *disco di accrescimento*) attorno alla nana bianca. Dopo aver seguito una traiettoria a forma di spirale il materiale si accumula sulla superficie della stella, realizzando un processo di accrescimento di materia reso possibile grazie alle caratteristiche dell'oggetto primario.

Una nana bianca è definita come una stella nel suo ultimo stadio evolutivo: miliardi di anni prima, presentava caratteristiche simili a quelle del Sole in quanto a massa, temperatura e raggio, ma nel tempo l'oggetto ha esaurito il suo combustibile, ha superato la fase di gigante e si è raffreddato lentamente, diventando sempre meno luminoso. Le nane bianche si presentano come sfere di volume ridotto (da qui l'appellativo "nana"), con elevatissima densità e con alta temperatura superficiale, caratteristica che le rende di colore bianco. Data la loro longevità, sono considerate i "fossili" delle galassie, poiché ne costituiscono la popolazione stellare più antica ancora attiva.

### Spettacolari eruzioni

Considerato che attualmente si dispone solo di poche informazioni sulle fasi precedenti l'esplosione, per le novae è pratica-

mente depositato. Durante questa fase la velocità acquisita è di qualche migliaio di km/sec, raggiungendo enormi distanze e producendo un massimo di luminosità. In questo istante la stella può giungere ad essere 150.000 volte più luminosa che nella fase iniziale del fenomeno: la nana bianca diventa così, a tutti gli effetti, una nova. Per tale motivo l'evento viene assimilato all'eruzione notturna di un vulcano che, dopo un periodo di apparente inattività, espelle repentinamente e in maniera incontrollata materiale incandescente che nel buio della notte illumina il cielo. Una volta raffreddato, il magma rinnova la crosta terrestre, così come le novae restituiscono nuova materia al mezzo interstellare. La velocità della massa espulsa diminuisce però gradualmente con la distanza dalla stella, in seguito all'attrito con la circostante polvere preesistente, lasciando la nova immersa in una nube di gas di diversa natura. Durante questa fase nebulare gli atomi si uniscono tra loro fino a formare strutture granulari sempre più complesse, fondamentali per la formazione di altre stelle e pianeti. Pertanto, osservare le novae immediatamente dopo l'espulsione di materia costituisce per i ricercatori uno strumento prezioso per capire ciò che avviene all'interno delle stelle.

In un'esplosione di nova, la variazione di luminosità è considerevole, con aumenti da 8 a 15 magnitudini. Una volta raggiunto il massimo splendore (che ha una durata di pochi giorni) la stella inizia a diminuire di intensità fino a raggiungere lo stesso livello di luminosità che aveva prima dell'eruzione. Durante le fasi precedenti e successive l'esplosione, la nova è considerata

una variabile cataclismica. Nella Galassia esplodono all'incirca 35 novae ogni anno, di cui in media solamente 6 vengono scoperte, causa la forte concentrazione del fenomeno sul piano galattico, dove ampie regioni di polveri ne rendono inaccessibile l'osservazione diretta dalla Terra.

I modelli teorici hanno mostrato come la quantità di gas espulsa sia solo una frazione del materiale catturato alla secondaria; in seguito all'esplosione, la quantità di materia che rimane sulla superficie

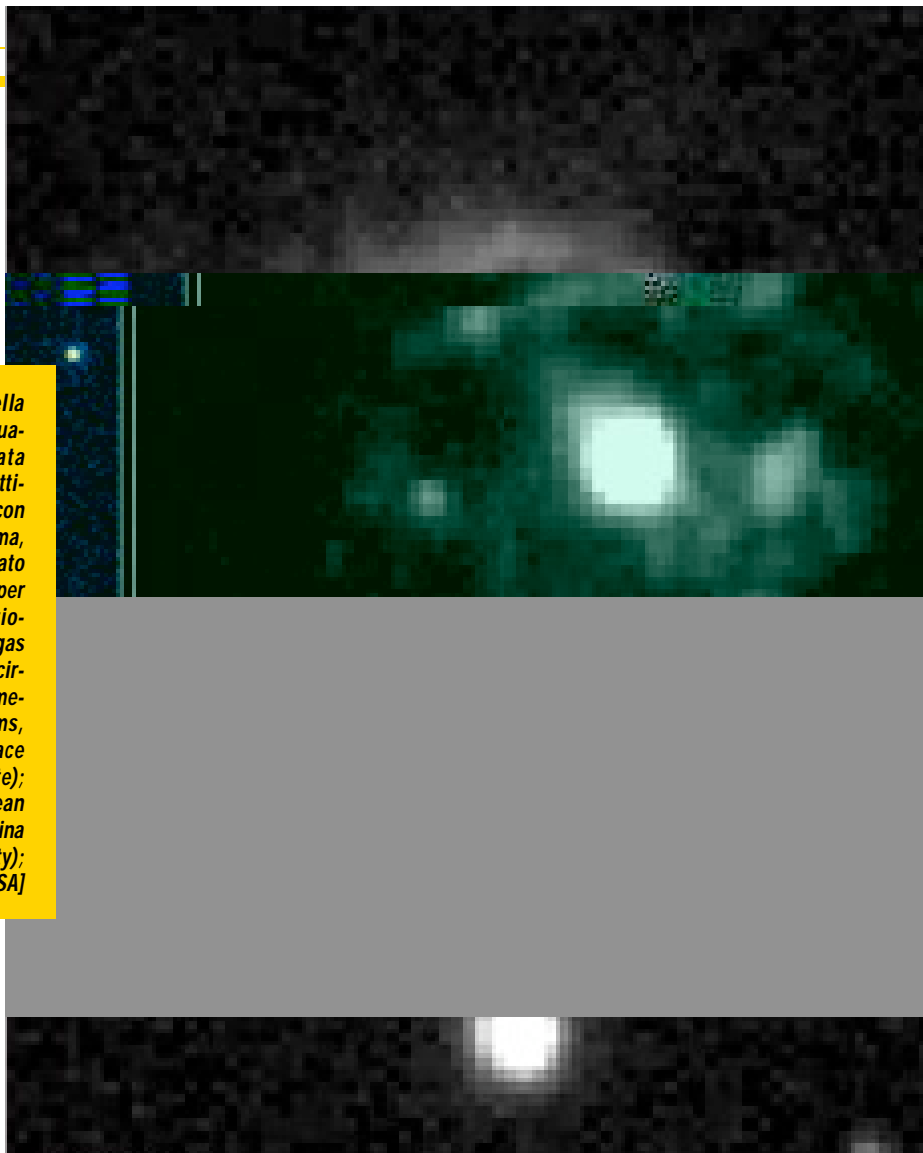
della nana bianca torna all'equilibrio idrostatico e le reazioni nucleari si sviluppano in maniera stabile. Tuttavia, la diminuzione di materiale sulla superficie dell'oggetto compatto provoca una riduzione della radiazione visibile e un aumento di quella con energie maggiori (dai raggi ultravioletti fino a quelli X molli).

## Ad alta energia

La banda dei raggi X rappresenta una finestra importante nello studio delle novae, perché a queste lunghezze d'onda è possibile esaminare in dettaglio l'atmosfera della nana bianca, dove la radiazione viene prodotta in maggior quantità. In seguito all'esplosione, infatti, la nova è visibile nella banda ottica per un periodo di tempo limitato, che può variare da pochi giorni fino a un centinaio di giorni. Proprio per il fatto che la detonazione avviene sulla superficie dell'oggetto compatto questi eventi non sono così potenti da destabilizzare la stella, come accade invece nelle supernovae. I valori di magnitudine della fase di pre-nova e post-nova coincidono, e questo è uno dei motivi per cui una esplosione di nova è definita cataclismica più che catastrofica.

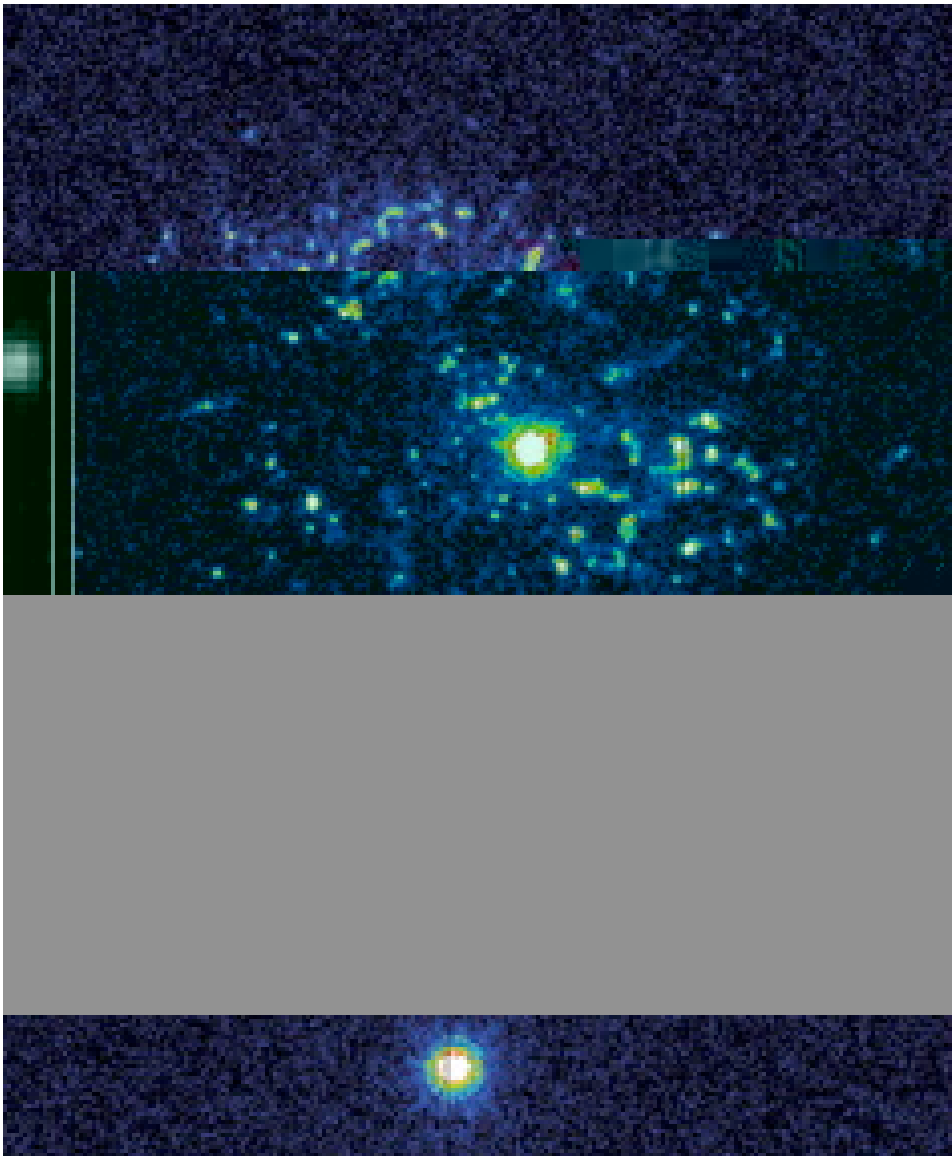
L'oggetto può già emettere radiazione subito dopo la deflagrazione, quando cioè la nube che circonda la stella (costituita essenzialmente dal materiale espulso) si diffonde e lascia allo scoperto quel che resta dell'astro. In realtà la regione stellare osservabile è una zona più interna dell'oggetto, quella localizzata proprio sotto ciò che era lo strato formato dal materiale trasferito dalla secondaria. Essendo quello ormai espulso, la nana bianca mostra una zona più interna (e quindi più calda), capace di emettere nella banda dei raggi X. Ciò permette agli astronomi di penetrare all'interno,

*Immagine comparativa della nova ricorrente T Pyxidis situata a 6000 anni luce, osservata da Terra con un telescopio ottico (sinistra) e dallo spazio con l'HST (destra). Quest'ultima, molto più definita, ha rivelato che il gas espulso non è per niente omogeneo, bensì frazionato in più di 2000 bolle di gas contenute in una superficie circolare di 1 anno luce di diametro. [Mike Shara, Bob Williams, and David Zurek (Space Telescope Science Institute); Roberto Gilmozzi (European Southern Observatory); Dina Prialnik (Tel Aviv University); and NASA]*



dove l'oggetto compatto sta ancora bruciando, mediante la fusione nucleare, materiale residuo non espulso. L'emissione di raggi X terminerà quando questo combustibile sarà esaurito, ovvero quando tutto l'idrogeno si sarà trasformato in elio attraverso la catena protone-protone. Pertanto, poter definire la durata di questo processo di emissione permette di stimare la quantità di materiale che rimane sulla superficie della stella dopo l'esplosione. È dunque fondamentale stabilire il momento in cui questa avviene per poter determinare l'istante in cui ha inizio e fine l'emissione X, ovvero determinare il suo tempo caratteristico (o tempo scala). Tutte queste informazioni risultano imprescindibili per porre vincoli ai modelli capaci di riprodurre in laboratorio le esplosioni di stelle novae.

Esistono, tuttavia, altri tipi di meccanismi di emissione di raggi X: gli urti prodotti nella collisione tra il materiale espulso e la polvere circumstellare preesistente, ad esempio, possono scaldare il mezzo e generare raggi X duri, con energie superiori a 1 keV. L'analisi della radiazione risultante aiuta a determinare la percentuale di materia accresciuta dalla secondaria, che viene rilasciata nello spazio. Bisogna nondimeno tener presente che affinché una nova emetta raggi X non è necessaria un'esplosione, considerato che questa radiazione si osserva anche in quelle stelle che già esplosero come novae, le *novae vecchie* (più tecnicamente, *old novae*). Una volta avvenuta l'eruzione, esse ristabiliscono infatti il processo di accrescimento, considerato il maggior responsabile dell'emissione X.



### RS Ophiuchi, una nova ricorrente

In astronomia è assai difficile non solo pronosticare un'esplosione, ma anche conoscere i tempi con cui i fenomeni esplosivi ricorrono in una stessa nova. In genere questi intervalli variano tra 100.000 anni e meno di 100 anni, caratteristica che rende tali avvenimenti ancora più imprevedibili. A tal proposito vale la pena menzionare il caso di RS Ophiuchi, una nova ricorrente della costellazione di Ofioco che ha richiamato negli ultimi due anni l'attenzione degli esperti, in seguito a una sua improvvisa riapparizione.

Situato a una distanza di circa 5000 anni luce, questo sistema ha manifestato cinque intense esplosioni negli ultimi 108 anni. L'ultima volta che è tornato a risplendere intensamente nel cielo fu durante il 2006, dopo 21 anni di "quiete". L'eccezionalità dell'evento ha messo in allerta la comunità astronomica internazionale, decisa a realizzare osservazioni sistematiche a tutte le lunghezze d'onda. Infatti, oltre ai dati dei telescopi ottici e a quelli di Chandra e di XMM-Newton, anche il satellite Swift (operante in banda X) e il radiotelescopio MERLIN (Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network, di Jodrell Banks) hanno raccolto una gran quantità di dati, che sono ancora all'esame dei professionisti. I modelli realizzati grazie a queste informazioni fanno pensare che la secondaria ceda massa alla nana bianca a un ritmo talmente elevato che l'oggetto compatto si trova presto nella con-

dizione di non sopportarne il peso. Quanto maggiore è la quantità del materiale trasferito, più combustibile in grado di mettere in atto un'esplosione sarà disponibile sulla superficie della nana bianca. Ciò spiegherebbe perché RS Oph diventa così luminosa a intervalli così brevi per una nova. Inoltre si pensa che, in seguito alla continua accumulazione di materia (e visto che ogni volta la stella ne espelle solo una parte), arriverà un momento in cui la sua massa potrebbe raggiungere il valore di 1,4 masse solari. Questo valore, conosciuto come limite di Chandrasekhar, stabilisce l'inizio di quei processi che portano a esplosioni ancora più impressionanti. Un evento di questo genere significherebbe la distruzione del sistema, ipotesi che farebbe di RS Oph la progenitrice di una supernova di tipo Ia.

### Novae e supernovae: l'origine della vita

Sebbene le novae e le supernovae appartengano alla stessa classe di stelle variabili ed entrambe costituiscano un evento relativamente straordinario del firmamento, nella pratica la deflagrazione di una supernova è uno spettacolo molto più affasci-

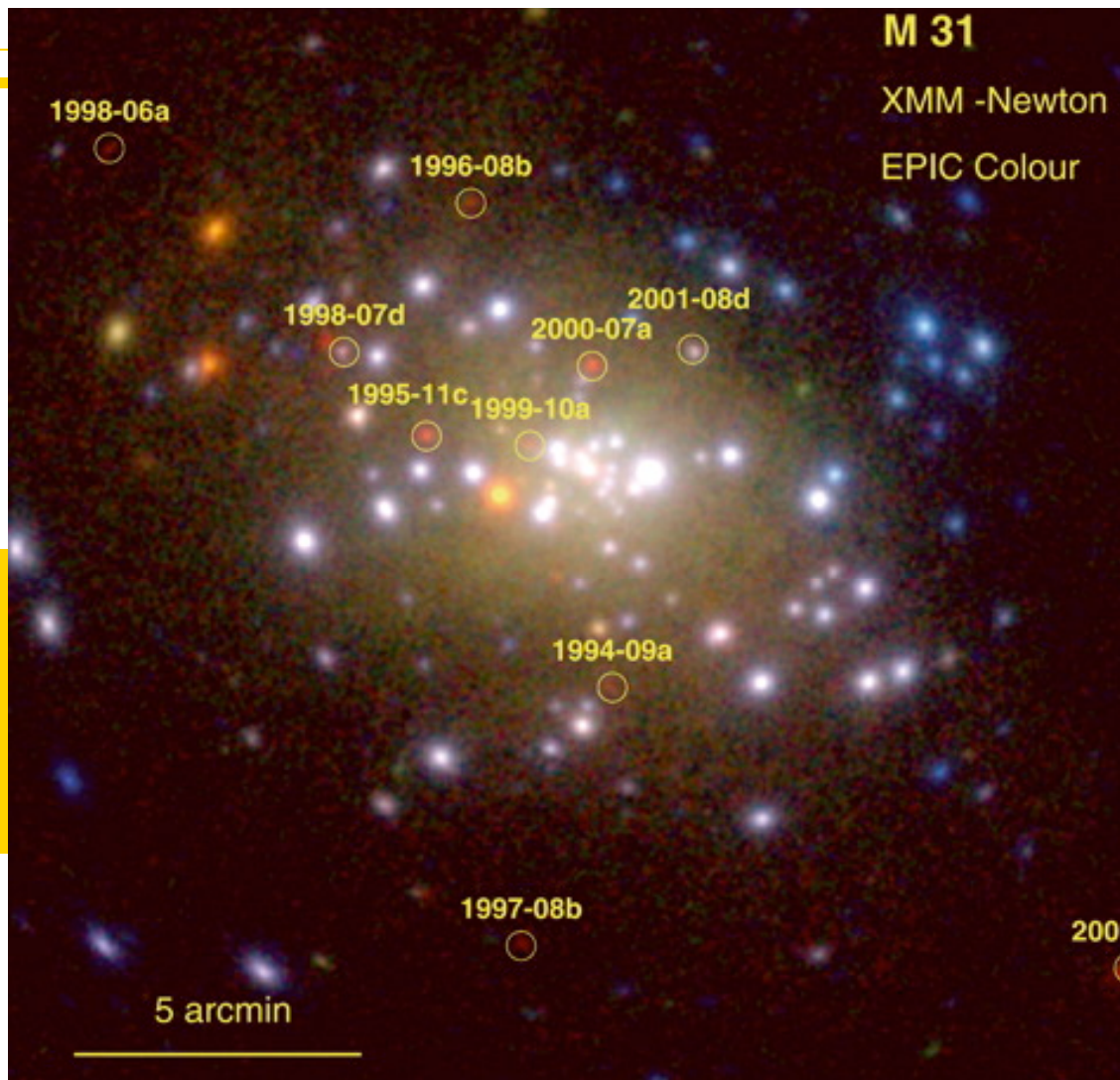
nante. Essa rappresenta l'istante finale dell'evoluzione di determinati oggetti celesti, la loro morte o, se preferiamo, la loro definitiva trasformazione. In effetti se un'esplosione di nova può ripetersi all'interno di uno stesso sistema binario, nel caso di una supernova l'evento è unico. Benché questo scenario apocalittico faccia pensare a una distruzione totale del sistema, in realtà all'interno della nube (che rappresenta il *residuo di supernova*) viene rilevata solitamente la presenza di una stella di neutroni in rapidissima rotazione (pulsar) o di un buco nero. È per tale motivo che un'esplosione di supernova non è propriamente sinonimo di morte della stella, quanto piuttosto di un nuovo inizio.

Un discorso simile può essere fatto anche per tutto ciò che i residui di supernova comportano per l'evoluzione dell'universo, considerato che la frazione di materiale diffusa nello spazio contribuisce ad arricchire di metalli il gas interstellare. Questa proprietà, condivisa da novae e supernovae, le rende entrambe fondamentali per l'evoluzione delle galassie. In definitiva, i composti chimici espulsi ricoprono un ruolo importantissimo anche per la creazione di sistemi planetari simili al nostro. Gli atomi, con il tempo, si uniranno tra loro fino a produrre strutture sempre più complesse, essenziali per la formazione di altre stelle e pianeti.

Una traccia inconfondibile di questo fenomeno è osservabile nei grani di polvere pre-solare presenti nei meteoriti raccolti sulla Terra, i quali preservano la composizione chimica della sorgente primordiale. Una delle conseguenze più importanti di questi avven-

nimenti è che noi esseri umani esistiamo grazie a quelle stelle che brillavano miliardi di anni fa. Studiare quel tipo di stelle vuol dire concretamente spiegare la storia della materia per capire la nostra esistenza.

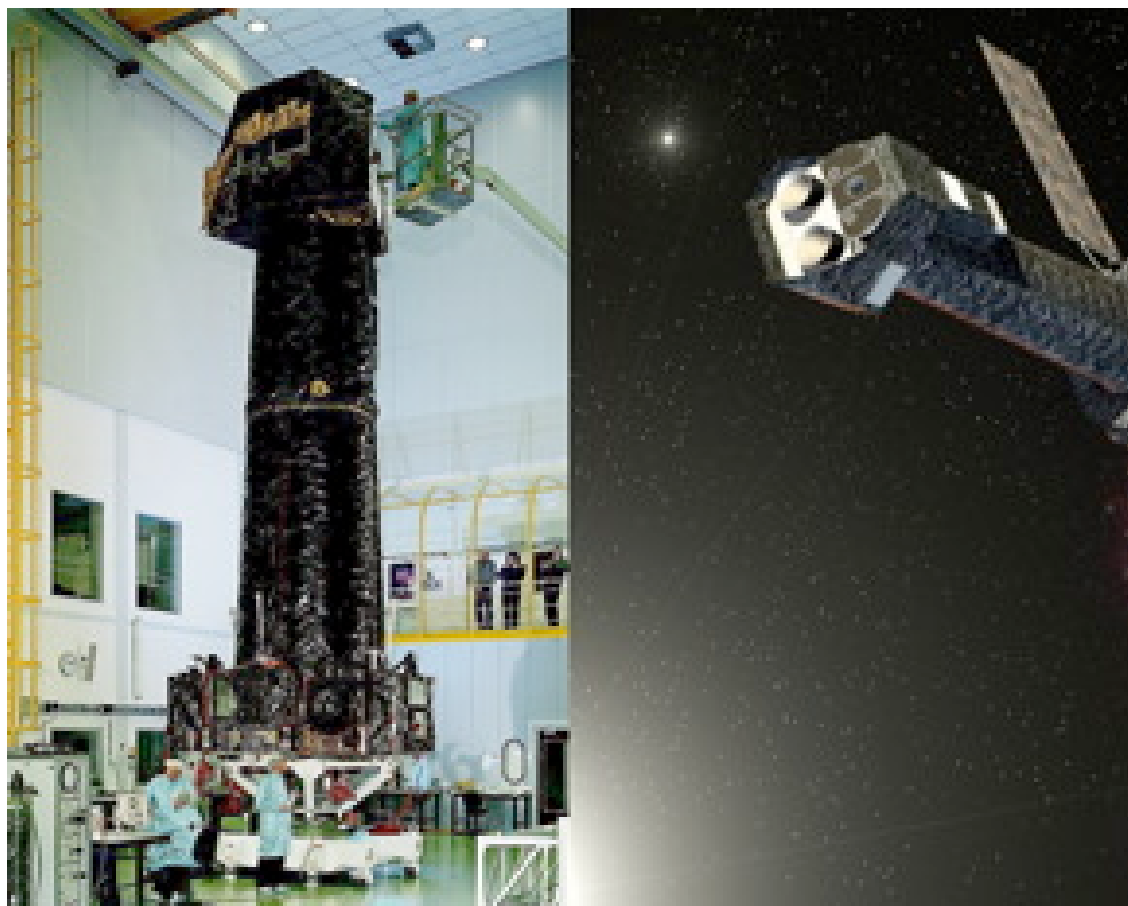
*Immagine ottenuta dall'XMM-Newton della zona centrale della galassia di Andromeda (M31). I cerchi e le sigle indicano, rispettivamente, le posizioni e i nomi delle nove individuate da osservazioni nell'ottico. [ESA]*



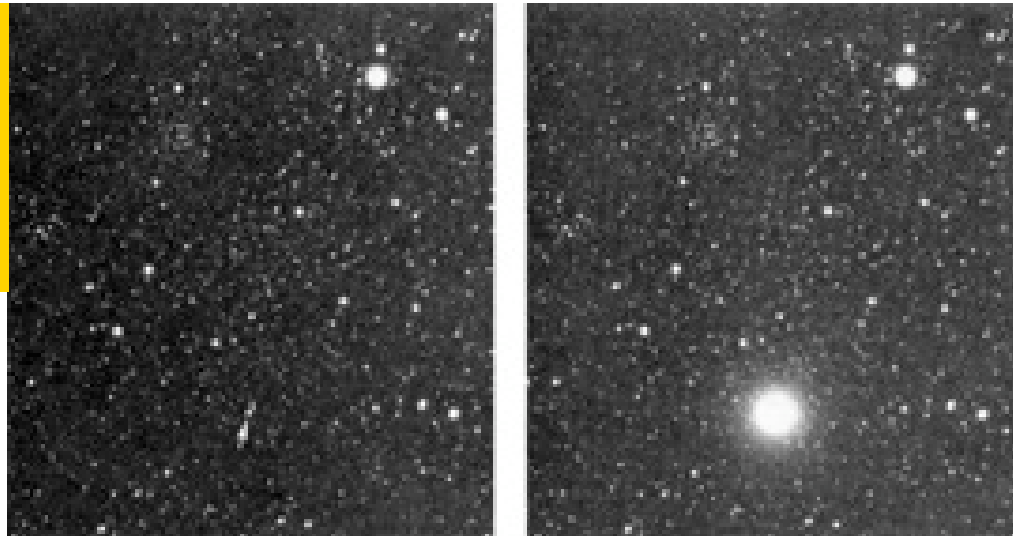
## Una nuova classe di esplosioni

L'osservazione delle stelle novae ha origini molto antiche. Secondo i documenti storici scritti da Plinio fu infatti l'apparizione di una nova a indurre Ipparco, nel II secolo a.C., alla compilazione del suo catalogo astrale. Per quanto riguarda invece le ricerche attuali, l'uso di nuovi osservatori spaziali si sta dimostrando fondamentale, dato che giorno dopo giorno e a un ritmo sorprendente nuove scoperte vengono realizzate su questi oggetti.

Una delle ultime scoperte che ha richiamato l'attenzione della comunità internazionale ha evidenziato l'esistenza di una possibile nuova classe di novae. Nel corso del monitoraggio di novae extragalattiche effettuato tra il 2004 e il 2005 con XMM-Newton nella vicina galassia di Andromeda (la nota

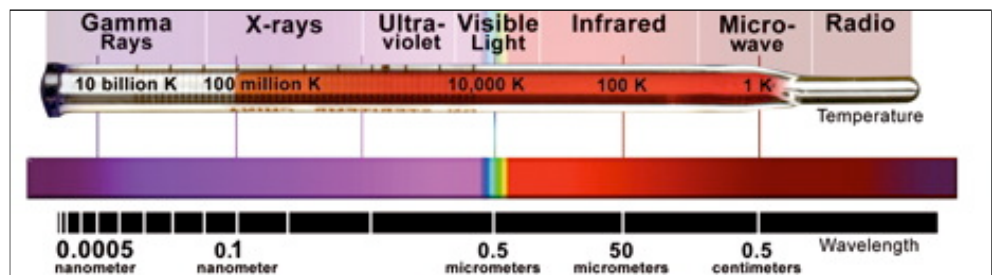


Queste due immagini mostrano una stessa zona del cielo notturno nella quale è possibile apprezzare la variazione di luminosità prodotta dalla Nova Cygni 1975 osservata prima (a sinistra, indicata con una freccia) e dopo l'esplosione. [Lick Observatory]



M31), si è scoperto che molte di esse mostravano un comportamento insolito nella banda dei raggi X. Alcune esibivano un'emissione che, in seguito a una seconda osservazione realizzata dopo qualche mese,

L'XMM-Newton dell'ESA è fra i telescopi con la più alta sensibilità strumentale ai raggi X finora costruiti. Lanciato il 10 dicembre del 1999, il suo nome è una combinazione dell'acronimo di X-ray Multi-Mirror e del nome del famoso fisico inglese Isaac Newton. [ESA]



Schema dello spettro elettromagnetico che mostra come la lunghezza d'onda della radiazione prodotta da un oggetto è proporzionale alla sua temperatura, che nella regione dei raggi X arriva a superare i cento milioni di gradi. [NASA]

non veniva più registrata, ma che successivamente (terza osservazione) tornava ad essere attiva. La causa per la quale il fenomeno non fosse stato rilevato fino a quell'epoca pare dovuta al fatto che

le osservazioni venivano sempre realizzate all'incirca ogni sei mesi, un lasso di tempo troppo lungo per registrare la rapida periodicità nei raggi X. Oltre a ciò si è notato come altre novae generino la stessa emissione per un periodo di tempo (continuo) più lungo, fino a 10 anni dopo l'esplosione; un comportamento che ha indotto a pensare che le nane bianche più massicce siano quelle con un'emissione più intensa ma anche più corta.

Al fine di vederci chiaro e confermare le ipotesi, il gruppo di scienziati responsabili della scoperta ha pianificato osservazioni sia con XMM-Newton sia con Chandra ogni 10 giorni per diversi mesi.

L'identificazione di questa nuova classe di novae fornirebbe, secondo gli addetti ai lavori, nuove e preziose informazioni che aiuteranno a capire il fenomeno esplosivo nella sua totalità. ■

• **Carlo Ferri** è originario di Pianella (PE). Nato nel 1979, si è laureato in Astronomia presso l'Università degli Studi di Bologna, con una tesi realizzata nell'Istituto de Astrofísica de Canarias (IAC) di Tenerife. Risiede attualmente in Catalunya ed è iscritto al Programma di Dottorato in Astronomia dell'Universitat de Barcelona, dove sta svolgendo una tesi dottorale presso l'Institut de Ciències de l'Espai (CSIC-IEEC), sullo studio di novae e variabili cataclismiche nella banda dei raggi X. •