

Tu che sei un fisico - Episodio 8

TITOLO

Quando si spegnerà il Sole?

SHOW NOTES

Oggi parliamo di come e quando si spegnerà il Sole.

Per approfondire:

- Una versione piuttosto chiara del Diagramma di Hertzsprung-Russell si trova qui: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Zams_and_tracks.png
- Qui invece trovi una sintesi di come evolvono le stelle in funzione della loro massa: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/Star_Life_Cycle_Chart.jpg
- La canzone di cui parlo nell'episodio è "Canzone per un'amica" di Francesco Guccini, anche nota come "In morte di S.F.", portata al successo dai Nomadi, anche se io ho sempre preferito la versione di Guccini. Una delle migliori secondo me è quella con cui si apre "Tra la via Emilia e il West" ("mi disseto un momento e cominciamo subito!"): <https://www.youtube.com/watch?v=Gf-d1Ev-4mQ>

Ti piace "Tu che sei un fisico"? Lo consiglieresti a un'amica o un amico? Allora ti chiedo, se ti va, di condividerlo sui social, e soprattutto di lasciare una recensione sulla piattaforma che usi per ascoltarlo. È un modo semplice per permettere a "Tu che sei un fisico" di raggiungere ancora più ascoltatori. Grazie!

Mandami le tue domande a:

tucheseiunfisico@borborgimi.org

O anche su:

<http://www.twitter.com/tucheseiunfisi1>

<http://www.facebook.com/Tu-che-sei-un-fisico-103204041288333/>

<http://www.borborigmi.org/tu-che-sei-un-fisico>

Seguimi su:

<http://www.twitter.com/marcodelmastro>

<http://www.instagram.com/marcodelmastro>

SIGLA

Oggi parliamo di come e quando si spegnerà il Sole

INTRO

Ecco finalmente un'altra puntata di "Tu che sei un fisico". Se vi forse chiesti perché è passato così tanto tempo dall'ultimo episodio, la risposta è semplice. Il poco tempo che riesco a dedicare alla divulgazione scientifica nelle ultime tre settimane se n'è andato con la registrazione di un video e due lezioni remote con le classi di un liceo italiano. E poi, naturalmente, c'è il lavoro e tutto il resto. A volte, restando confinato in casa, mi sembra di avere più da fare di prima.

Nel frattempo, le vostre domande non hanno smesso di arrivare. La lista di quesiti in sospeso ne conta adesso circa una cinquantina di inevasi. Ho cominciato a raggrupparli per categorie: senza troppe sorprese, la maggior parte ricade nell'ambito della fisica delle particelle. Segue a ruota la categoria dell'astrofisica (con qualche incursione nella fantascienza), mentre la terza categoria di domande più popolata è quella dei quesiti "epistemologici". "Epistemologia" è un parolone che vuol dire "teoria della conoscenza": sono tutte domande che hanno in qualche modo a che vedere con i meccanismi con cui si costruisce la conoscenza scientifica, e con che cosa questa possa dire (o non dire) dell'universo in cui ci siamo ritrovati a vivere. Le restanti domande spaziano dalla fisica del quotidiano alle scienze naturali, dalla tecnologia alla fisica dei materiali, con, a volte, un spruzzatina di pseudoscienze, che non ho ancora deciso come affrontare.

Oggi pensavo di rispondere a due domande, una di astrofisica e una di vita quotidiana. Mentre mi preparavo, però, la risposta alla prima domanda ha preso il sopravvento, e ho deciso di fare una puntata monotematica. Siate indulgenti, spero di non sbrodolare troppo....

QUANDO SI SPEGNERÀ IL SOLE?

La domanda di oggi arriva da Emanuele, che chiede:

- Tu che sei un fisico, sai se e quando si spegnerà il Sole?

Caro Emanuele, quel “se e quando” nella tua domanda mi fanno sospettare che in realtà tu conosca già almeno in parte la risposta. Anzi, ne sono quasi sicuro, visto che prosegui con un secondo quesito:

- Secondo te ci estingueremo noi umani da soli, o ci ucciderà il Sole quando scoppierà?

Farò finta di niente, e proverò a rispondere alla prima parte della questione, quella su cui la scienza è in grado di dire qualche cosa.

La risposta breve alla prima parte della domanda, quella che chiede se il Sole si spegnerà, è semplice: “sì, il Sole si spegnerà”. Normalmente pensiamo alle stelle, e in particolare alla stella intorno a cui orbita il pianeta su cui viviamo, come a delle entità eterne. In realtà anche le stelle hanno un ciclo di vita: nascono, o meglio, si formano, evolvono, e questa loro evoluzione arriva a un termine.

La ragione è semplice: le stelle sono aggregati di materia, una buona parte della quale sta partecipando a processi di fusione nucleare. Nel corso di questi processi di fusione, la materia che costituisce inizialmente la stella si consuma e si trasforma, la composizione della stella cambia, così come le reazioni nucleari possibili. È possibile dunque che arrivi un momento in cui il combustibile che tiene la stella accesa si consumi, e che la vita della stella, volendola chiamare così, giunga al termine.

Dico “è possibile” perché l’evoluzione stellare dipende da molti parametri, e in particolare dalla massa iniziale della stella: a seconda del processo evolutivo non è detto che una stella si spenga per esaurimento del combustibile, ma potrebbe appunto esplodere, come vaticinava nella sua domanda Emanuele.

Siccome noi umani abbiamo tendenza a misurare tutto in funzione di quello che ci circonda, non è sorprendente che misuriamo la massa delle stelle in unità di “masse solari”: una stella di una massa solare avrà la stessa massa del nostro Sole, e la sua stessa storia evolutiva, mentre stelle di massa inferiore o superiore hanno delle vite potenzialmente diverse.

Esiste un diagramma notissimo a chiunque abbia studiato l’evoluzione stellare, che ha un nome a stento pronunciabile: diagramma di Hertzsprung-Russell. A me ricorda indissolubilmente l’esame di astrofisica teorica ai tempi dell’università, e, tra le altre cose, che per brevità e comodità tutti lo chiamavamo “diagramma di H-R”.

Il diagramma di HR - ve ne metto un esempio nelle note dell'episodio - ha sull'asse delle ascisse il tipo di luce emessa dalle stelle: luce più blu verso sinistra, e più rossa verso destra. La luce emessa dalle stelle caratterizza quello che gli astrofisici chiamano il "tipo spettrale" della stella, ed è qualcosa che ha a che vedere con la temperatura della stella. Stelle molto calde tendono ad emettere luce più blu, stelle più fredde luce più rossa: ecco che l'asse delle "x" del diagramma H-R è di fatto una scala di temperatura messa al contrario. Le espressioni "più calde" e "più fredde" si riferiscono ovviamente alle temperature delle stelle: "freddo" in questo caso sono poche migliaia di gradi Kelvin, "caldo" parecchie decine di migliaia di gradi.

Sull'asse delle ordinate del diagramma H-R c'è la luminosità delle stelle. Durante il periodo principale della loro vita, stelle più calde (quelle blu, che stanno verso la sinistra del diagramma) sono anche più luminose, mentre la luminosità diminuisce con la temperatura. Ecco allora che la maggior parte delle stelle, durante circa il 90% della loro vita, possono essere classificate sul diagramma H-R su una linea centrale che lo attraversa dall'alto a sinistra fino in basso a destra. È quella che si chiama la "sequenza principale", che classifica la vita "normale" delle stelle durante il periodo in cui consumano il loro carburante.

C'è una correlazione chiara tra la massa delle stelle, la loro temperatura e la loro luminosità. Stelle molto massive, con masse pari a svariate decine e persino centinaia di volte la massa del Sole, sono molto calde ed emettono luce prevalentemente blu. Il Sole se ne sta a tre quarti della sequenza principale, verso l'angolo in basso a destra, con la sua luce gialla. Stelle con masse più piccole di una massa solare sono ancora più fredde ed emettono luce ancora più rossa.

Se la sequenza principale accomuna la maggior parte della vita delle stelle, le cose cambiano quando queste arrivano verso la fine della loro esistenza. A seconda della loro massa, e di cosa è successo nei loro cuori durante la loro vita, l'ultimo periodo della loro evoluzione prende strade diverse. Per semplicità, divideremo le stelle in stelle molto leggere (con masse inferiori a un decimo della massa del Sole), stelle di media taglia (con masse tra un decimo e dieci volte la massa del Sole), e stelle massicce (con masse superiori a 10 volte la massa del Sole).

Le stelle molto leggere non hanno un'evoluzione molto interessante, e le lasceremo da parte. Hanno tendenza a spegnersi gradualmente man a mano che consumano il carburante, diventando a termine quello che chiamiamo delle nane marroni, senza grossi sconvolgimenti.

Le stelle di taglia media e quelle massicce, invece, verso la fine della loro vita si trasformano in modo anche drammatico. Intanto si espandono notevolmente, diventando rispettivamente giganti rosse e supergiganti rosse. Questa espansione è legata all'aver esaurito tutto il combustibile nel cuore della stella: le reazioni di combustione cercano adesso di bruciare il combustibile che resta negli strati esterni della stella. L'effetto è provocare questa enorme espansione, ma quello che succede dopo questa espansione dipende dalla della massa della stella.

Le stelle di taglia media sono diventate giganti rosse: in un ultimo respiro espelleranno una buona parte del materiale che hanno formato nel loro cuore nel corso della loro vita, formando quello che chiamiamo una nebulosa planetaria. Al centro della nebulosa resterà il cuore consumato della stella, in una forma che chiamiamo "nana bianca". A termine, le nane bianche si raffreddano diventando "nane nere".

Le stelle massicce, che si sono invece espanse diventando supergiganti rosse, seguono un percorso evolutivo diverso. A causa della loro grande massa, prima o poi le supergiganti rosse collassano su se stesse, dando vita un'esplosione che chiamiamo di "supernova". Allora, tecnicamente dovrei dire che si tratta di supernove di tipo 2, perché in certe condizioni anche le giganti rosse possono dare vita un'esplosione di supernova, in questo caso di tipo 1, ma sorvoliamo. Il cuore collassato delle supernove, a seconda della loro massa iniziale, può dare vita a una stella di neutroni, o a un buco nero.

I tempi di questi percorsi evolutivi sono molto diversi. Le stelle di piccola taglia tendono a vivere molto più a lungo che le stelle massicce, dove con "vivere" intendo il tempo che passano a bruciare carburante sulla sequenza principale del diagramma H-R. Il tempo di vita di una stella come il Sole è di circa 10 miliardi di anni, mentre una stella con una massa pari a 50 volte la massa del Sole passa solo qualche milione di anni sulla sequenza principale prima di incamminarsi verso la sua trasformazione in supergigante rossa.

Torniamo dunque alle domande di Emanuele. Sulla base di quello che abbiamo imparato sull'evoluzione delle stelle, possiamo dire che, tra circa 5 miliardi di anni, il Sole si espanderà diventando una gigante rossa. Vista la sua massa relativamente piccola, dopo questo stadio non esploderà in una supernova. Emetterà invece una parte del materiale che si è formato nel tempo al suo interno in quella che chiamiamo una nebulosa planetaria, lasciando il cuore a formare una nana bianca.

Il fatto che il Sole non esploderà in una supernova non rende le prospettive meno drammatiche per la Terra. Intanto, anche l'emissione della nebulosa planetaria è una forma di esplosione, magari meno spettacolare di quella di una supernova, ma non meno distruttiva per il sistema planetario della stella che va incontro a questa trasformazione. Ma anche già durante la fase che precede l'espansione a gigante rossa, il Sole si trasformerà in modo catastrofico per la Terra. La temperatura del Sole crescerà infatti gradualmente nel corso dei prossimi cinque miliardi di anni, arrivando a un certo punto ad essere così elevata da far evaporare gli oceani della Terra, e da rendere di fatto il pianeta inabitabile alla vita come la conosciamo oggi.

Quanto tra circa 5 miliardi di anni il Sole si espanderà diventando una gigante rossa, nonostante la drammatica crescita delle dimensioni della nostra stella, non è detto che a Terra ne verrà inglobata dal Sole, come succederà invece con grande probabilità a Mercurio e Venere. La difficoltà a dire cosa succederà a quel punto dipende anche dal fatto che, durante quella transizione, anche l'orbita della Terra cambierà come conseguenza dell'espansione del Sole. In ogni caso, la distruzione del pianeta come lo conosciamo oggi sarà già avvenuta da tempo.

La scala temporale di questi fenomeni è incredibilmente lunga. Il Sole è una stella di mezza età, si è formata circa 5 miliardi di anni fa e vivrà ancora per circa 5 miliardi di anni. Anche immaginando che i primi effetti catastrofici della sua evoluzione verso lo stadio di gigante rossa si manifestino tra circa un miliardo di anni, si tratta comunque di un tempo lunghissimo e di un orizzonte lontanissimo.

Questo è sicuramente vero per noi che siamo qui oggi a chiacchierare di questi argomenti, ma anche, più in generale, per l'umanità intesa come specie. La storia dell'uomo è veramente molto più breve: l'animale uomo calca la superficie del pianeta Terra da circa 250000 anni, un'inezia rispetto all'età della Terra o del Sole, e della loro durata di vita. Ci sarà ancora qualcosa che potremmo chiamare "umanità" sulla Terra tra un miliardo di anni? Viste le scale temporali, mi sembra evidente che nessuno sia in grado di dire con certezza se sarà l'evoluzione del Sole a eliminarci, o se sarà invece qualche altro genere di catastrofe a occuparsi di noi molto prima.

Quello che però mi pare evidente è che siamo stati bravissimi a darci la zappa sui piedi da soli. Fenomeni come inquinamento, riscaldamento globale e cambiamento climatico rappresentano minacce alla nostra sopravvivenza come specie molto più concrete e ravvicinate che la morte della nostra stella!

Il ricordarsi che una stella come il Sole non è eterna, che ha una sua "vita", un'evoluzione, una nascita e una morte, potrebbe essere angosciante per qualcuno. Un cantautore che ho amato molto, non certo noto per l'allegria dei temi delle sue composizioni, apriva i suoi concerti con una canzone che verso la fine si chiede:

*Vorrei sapere a cosa è servito
vivere, amare, soffrire,
spendere tutti i tuoi giorni passati
se presto hai dovuto partire*

La canzone in questione si riferisce alla morte di una giovane donna in un incidente d'auto, ma le domande che solleva restano valide per tutti, tanto per nostre brevi vite che per la durata della nostra presenza come specie nell'universo. A cosa servono vivere, amare, soffrire, che senso hanno i nostri giorni su questa Terra, se tra qualche miliardo d'anni gli oceani bolliranno, e il Sole, diventando un gigante rossa, ingloberà il pianeta, cancellando ogni traccia del nostro passaggio? La tentazione di rispondere "a nulla" è ovviamente forte. Personalmente, io però penso che ci siano altre risposte possibili.

Ci sono stati periodi della storia dell'umanità - pensate al Medioevo! - in cui la nostra intrinseca finitezza ci faceva compagnia in maniera molto più chiara ed evidente. Non voglio dire che tornerei volentieri a periodi in cui la vita era più difficile, e in cui si moriva molto più facilmente, anzi! Penso però che ricordarsi che ci è dato un tempo limitato da passare su questa Terra,

tanto come individui che come specie, possa essere uno stimolo per vivere un'esistenza più consapevole.

L'essere messo di fronte all'inevitabile caducità delle cose, tanto di quelle viventi in senso stretto, ma anche degli altri fenomeni dell'universo, a me dice per esempio che, se un senso c'è nella vita, non è da cercarsi nel *tempo*, e in un *futuro* radioso da conquistare. Il significato che penso si possa provare a dare alle nostre esistenze, per me, è da cercarsi nell'*immediato*, e allo stesso tempo *al di là del tempo, oggi e sempre*.

La durata limitata della vita, mia, vostra, della Terra e del sistema solare, mi aiuta poi a ricordarmi che facciamo parte di un grande tutto in evoluzione, del quale non siamo il centro né il fine, ma al quale possiamo contribuire con i nostri cuori e le nostre braccia.

Durante questo periodo di confinamento pandemico ho letto e riflettuto parecchio sull'idea di *finitezza*. In una delle letture che ho fatto, ho scoperto che le parole *umiltà* e *humus* hanno la stessa radice. L'*humus* è quello strato del terreno dove affondano le radici le piante, e dove gli organismi che muoiono vengono riassorbiti per nutrire nuova vita. Mi piace pensare che veniamo da un *humus* cosmico del quale ci nutriamo, e a cui un giorno, prima o poi, torneremo, magari per nutrire altre vita, altrove.

Gli elementi pesanti come il carbonio, l'azoto, l'ossigeno, che sono alla base della vita sulla Terra, sono stati sintetizzati nel cuore di altre stelle molto tempo prima, e poi eiettati dall'esplosione di una supernova o in una nebulosa planetaria alla fine delle loro vite, dentro a quel mezzo interstellare da qui nascono a volte stelle nuove. Siamo fatti di polvere di stelle, e la polvere della nostra stella nutrirà forse un giorno un'altra parte di universo capace di prendere coscienza di sé, di osservarsi e di porsi delle domande.

Niente ci impedisce poi di immaginare che l'umanità sarà capace, nella sua creatività e testardaggine, di inventare il modo di esplorare il cosmo al di là dei limiti del sistema solare, e di continuare la sua esistenza altrove, magari pure oltre il momento in cui il Sole uscirà dalla sequenza standard del diagramma H-R per incamminarsi verso i suoi ultimi giorni.

Prima di arrivare a questo punto, mi pare però che abbiamo problemi più urgenti da risolvere, le cui soluzioni passano tutte dal sapere (e volere) prendersi cura del vascello cosmico su cui ci siamo trovati a viaggiare. Ci sono cambiamenti radicali e azioni impellenti da immaginare e da mettere in atto. Adesso, con coraggio, determinazione, e umiltà.