

# "Ho vegliato le notti serene"

Rivista periodica di astronomia a cura del gruppo astrofili del Liceo Scientifico "Leonardo da Vinci" di Vallo della Lucania

## EDITORIALE

Tema centrale del nostro giornalino di quest'anno è l'esplorazione delle meraviglie della scienza e dell'universo. In questo viaggio affascinante, vi porteremo alla scoperta di alcuni degli aspetti più misteriosi e straordinari della fisica e dell'astronomia, aprendovi le porte di mondi invisibili e lontani. Partiremo dal cuore della materia, svelando i segreti dei quanti, le unità fondamentali che governano il comportamento della realtà a livello microscopico. Attraverso gli articoli che seguono, vi guideremo nella comprensione di come questi mattoncini dell'universo abbiano rivoluzionato la nostra visione del mondo e ispirato incredibili progressi tecnologici. Proseguiremo poi con un approfondimento sull'antimateria e le antiparticelle, misteriose controparti della materia ordinaria che rappresentano una sfida scientifica affascinante e aprono la strada a interrogativi fondamentali sull'origine del cosmo. Dalla fisica teorica passeremo alla pratica, esplorando i principi della

risonanza magnetica nucleare, una delle applicazioni più rivoluzionarie della scienza nel campo della medicina. Questo strumento straordinario ci consente di indagare l'interno del corpo umano, connettendo la fisica alla salvaguardia della salute. Il nostro viaggio non si ferma sulla Terra, ma si spinge verso le stelle. Scopriremo il misterioso universo delle stelle di neutroni, residui di supernove incredibilmente densi, che rappresentano alcune delle strutture più estreme conosciute. Sposteremo poi lo sguardo verso il cielo per ammirare Mizar, Betelgeuse e Antares: stelle dalle caratteristiche uniche, simbolo della vastità e della bellezza dell'universo. Che queste pagine vi aiutino a vedere il mondo con occhi nuovi, a riconoscere l'armonia nascosta dietro i fenomeni naturali e a comprendere l'importanza di continuare a esplorare, innovare e proteggere ciò che ci circonda.  
**Buona lettura!**



## SOMMARIO

PAGINA 2-3  
**SIC TRANSIT MATERIA MUNDI**

PAGINA 4-5-6-7  
**QUANTO**

PAGINA 8-9  
**ANTIMATERIA E  
ANTIPARTICELLE**

PAGINA 10-11  
**LA RISONANZA MAGNETICA  
NUCLEARE**

PAGINA 12-13-14  
**STELLE DI NEUTRONI**

PAGINA 15  
**MIZAR**

PAGINA 16  
**BETELGEUSE**

PAGINA 17-18  
**ANTARES**

[www.gruppozerog.it](http://www.gruppozerog.it)  
[www.scientificovallo.edu.it](http://www.scientificovallo.edu.it)

## SIC TRANSIT MATERIA MUNDI

**Cos'è la materia? Di cosa sono fatti gli oggetti che ci circondano? Esistono dei componenti fondamentali? Quanti sono?**

Con il termine materia si indica comunemente tutto ciò che è dotato di una massa e che occupa uno spazio, tutto ciò che risulti visibile e percepibile con i nostri sensi. Quasi tutti i corpi che ci circondano possono presentarsi in uno dei tre differenti stati fisici: solido, liquido e aeriforme (a questi in realtà se ne aggiungono altri, come plasma e stato di Bose-Einstein) e ciò dipende dalla temperatura e dalla pressione alle quali essi si trovano. Quando, in seguito a una variazione della temperatura o della pressione, i corpi cambiano il loro stato, si dice che si è verificato un passaggio di stato. In tempi recenti si è studiato il comportamento di un tipo di materia molto più estremo: la materia nucleare, ovvero quella che costituisce i nuclei atomici. I nuclei atomici sono composti da neutroni e protoni, ma questi, a loro volta, sono costituiti da quark che interagiscono scambiandosi gluoni, in modo simile a come gli elettroni di una molecola interagiscono scambiandosi fotoni.

La materia ordinaria, che compone tutto ciò che ci circonda, è formata da atomi. Un atomo è formato da un nucleo, composto a sua volta da neutroni e protoni attorno al quale ruotano gli elettroni. I neutroni e i protoni sono tenuti insieme dall'interazione forte, detta energia di legame, che è anche la forza che unisce i quark nelle particelle della famiglia degli adroni (mesoni e barioni). Gli elettroni (che hanno carica elettrica negativa) sono legati ai protoni del nucleo (carica elettrica positiva) dalla forza elettromagnetica. L'atomo stabile è elettricamente neutro e contiene cariche positive (protoni) e negative (elettroni) in egual numero. Nella materia "ordinaria", ovvero come appare in natura, quark e gluoni sono confinati a formare gli adroni, legandosi in due modi diversi e dando così origine a due "famiglie" di particelle: i barioni (come protoni e neutroni) sono particelle composte da 3 quark, i mesoni sono invece composti da una coppia quark anti-quark. In natura non si osservano quark liberi, il fenomeno prende il nome di confinamento.



*Fig.2: I barioni, come neutroni e protoni, sono formati da 3 quark, mentre i mesoni sono formati da un quark e un anti-quark. I quark sono legati dai gluoni, particelle mediatrici dell'interazione forte.*

La teoria che descrive la materia nucleare e l'interazione forte è la Quanto-Cromodinamica Quantistica (QCD). Questa teoria prevede che se i barioni e i mesoni vengono fortemente compressi (aumentando quindi la densità) o riscaldati (aumentando la temperatura), si verifica una transizione di fase, analogamente a quanto avviene quando si scalda l'acqua e si osserva la transizione da stato liquido a gassoso. Nel caso della materia nucleare, si passa dallo stato in cui quark e gluoni sono confinati a formare barioni e mesoni a uno stato in cui i quark e i gluoni sono liberi, il cosiddetto plasma di quark e gluoni, o QGP dall'inglese "Quark-Gluon Plasma". La temperatura necessaria affinché la transizione di fase avvenga è di circa 150 milioni di elettronvolt (150 MeV), che equivale a quasi 2 migliaia di miliardi di gradi centigradi, insomma una temperatura circa 1.000.000 volte quella del centro del Sole!

Queste condizioni, come vedremo, erano verificate nell'Universo primordiale, appena una decina di microsecondi dopo il Big Bang.

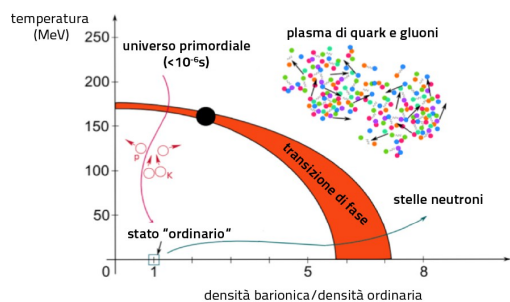


Fig.3: Diagramma di fase della materia nucleare. Aumentando la temperatura o la densità della materia nucleare avviene una transizione allo stato di plasma di quark e gluoni liberi. Ad altissime densità e basse temperature si trovano le stelle di neutroni, mentre l'Universo primordiale, qualche microsecondo dopo il Big Bang, si trovava a temperature molto elevate e basse densità.

L'Universo primordiale, qualche milionesimo di secondo (microsecondo) dopo il Big Bang, era permeato da uno stato denso e caldo (la temperatura raggiungeva circa 10.000 miliardi di gradi!) in cui i quark e i gluoni erano liberi. La successiva rapida espansione, con conseguente diminuzione di densità e di temperatura, portò alla transizione da plasma di quark e gluoni a materia nucleare (neutroni e protoni) prima e successivamente alla formazione dei nuclei.

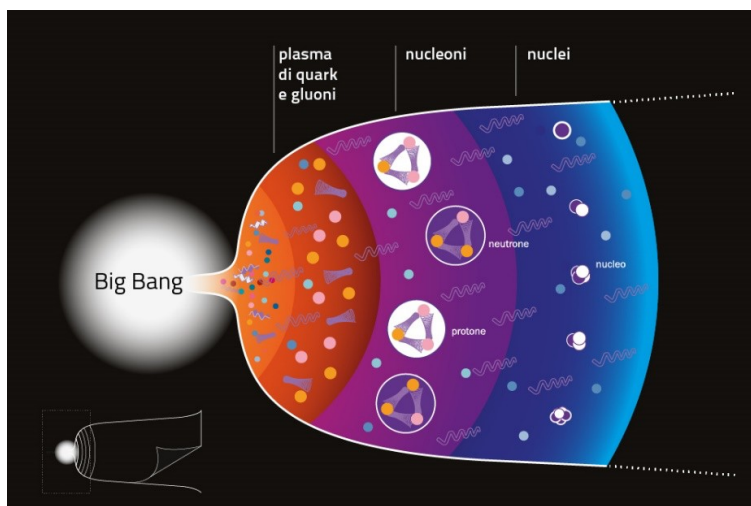


Fig.4: Schema dell'evoluzione dell'Universo primordiale. Evidenziate le zone di transizione dallo stato di plasma di quark e gluoni ai quark confinati che formano i nucleoni (neutroni e protoni), fino alla formazione dei nuclei atomici.

Per ricreare condizioni simili a quelle dell'Universo primordiale in laboratorio si fanno collidere ioni (ovvero atomi ai quali sono stati strappati gli elettroni) pesanti (ad esempio di piombo o di oro) accelerati a energie ultra-relativistiche (ossia prossime alla velocità della luce). Tra gli obiettivi principali di questo tipo di indagine vi sono lo studio dell'interazione forte, delle proprietà dei quark e dei gluoni liberi e la comprensione del meccanismo di confinamento che ha dato luogo alla creazione della materia nell'Universo in espansione. In una collisione di nuclei pesanti ad altissime energie i quark che compongono neutroni e protoni interagiscono formando una zona

molto calda e densa, chiamata in gergo “fireball”. Se la temperatura raggiunta supera il valore critico necessario alla transizione di fase, si verificano le condizioni per cui può formarsi il QGP (Quark-Gluon Plasma.) La “fireball”, così come l'Universo primordiale, si espande e si raffredda, finché i quark si ricombinano a formare particelle elementari, grazie all'energia disponibile che si trasforma in massa ( $E=mc^2$ ). In queste collisioni si produce anche antimateria, ovvero particelle uguali a quelle che compongono la materia ordinaria (neutroni, protoni, elettroni...) ma con caratteristiche (carica elettrica, momento magnetico e intrinseco...) opposte, come anti-protoni, anti-neutroni e anti-nuclei leggeri (anti-deuterio, anti-elio...). In poche parole in laboratorio si ricrea un piccolo Big Bang o, come viene chiamato in gergo, un “Little Bang”.

## QUANTO

Nella prima metà del ventesimo secolo la nostra concezione dell'Universo fu completamente ribaltata, tant'è che le vecchie teorie classiche della fisica furono rimpiazzate da un nuovo modo di pensare straordinariamente rivoluzionario: la meccanica quantistica. Questo modello provoca una variazione radicale delle idee della preesistente meccanica newtoniana e per certi versi rappresenta un cambiamento risolutivo del senso comune. La teoria quantistica introduce un grande cambio di paradigma, giacché mette alla luce aspetti di un Universo controintuitivo e distante dalla nostra immaginazione, indeterminato e statistico, complesso da assimilare. La cosa più strana e sbalorditiva della teoria è rappresentato dal successo riscontrato nel predire il comportamento dei sistemi fisici in ambito microscopico. Ci risulta difficile comprendere questa teoria, per il semplice fatto che si discosta dall'erario conoscitivo comune di intendere la realtà, poiché siamo abituati ad affibbiare analogie con situazioni fisiche che ci sono familiari per comprendere a pieno un concetto, e questo non è proprio l'approccio giusto in quanto i processi quantistici sono davvero

molto differenti dalla nostra normale esperienza. Ma come viene fuori? Beh, da una crisi, come tante altre rivoluzioni nel campo scientifico per altro; la descrizione della realtà di cui si avvaleva la comunità di fisici a fine 800 sembrava perfetta, si credeva fosse impossibile incrementare ulteriormente il grado di conoscenza raggiunto grazie al contributo dei più grandi pionieri dell'epoca che hanno dato un contributo fondamentale a conferire una struttura alla fisica classica, con la meccanica newtoniana e l'elettromagnetismo di Maxwell, che tenevano ben separati il mondo della materia fatto di corpi che traslano, ruotano e rototraslano occupando un punto ben preciso dello spazio e si muovono in modo prevedibile (conoscendo le condizioni al contorno relative al moto), e il mondo della luce, descritta come un'onda elettromagnetica, che come tutte le onde è dispersa e si propaga nello spazio. Con la crisi si apre la mostra "Quanto", che ci porta nel profondo della materia, a livello microscopico degli atomi e poi al loro interno dove i principi che ci sembravano ovvi crollano del tutto.

Siamo agli inizi del 900 e la teoria di Maxwell funziona in modo eccellente ed ha oltretutto molte implicazioni tecnologiche: il sapere sembra giunto al limite, a farlo presente è la rilevante ideologia sintetizzata da un'affermazione di Lord Kelvin: "Ormai in fisica non c'è più nulla di nuovo da scoprire. Tutto ciò che rimane da realizzare sono misure sempre più precise", evidentemente sbagliata e spogliata nel suo inganno da studi condotti in avvenire sul corpo nero. Tale corpo è un oggetto ideale che assorbe tutta la radiazione elettromagnetica incidente e non la riflette, per questo motivo appare totalmente nero: sperimentalmente non è altro che una cavità avente un piccolo foro per far entrare la radiazione che rimbalzerà sulle pareti, a patto che quest'ultime conservino una temperatura costante e il foro abbia dimensioni molto piccole rispetto al corpo ( a detta di Kirchhoff ). ). Viene dunque studiato lo spettro degli atomi: viene analizzato il loro comportamento quando viene fornita loro dell'energia, aspettandoci che tale energia venga in qualche modo riemessa: ciò accade sotto forma di energie a bande, che identificano l'atomo analizzato.

Questa emissione si traduce in radiazione del corpo nero stesso, che obbedisce a leggi basate sulla temperatura, fattore principalmente influente. La legge di Stefan-Boltzmann ci fornisce una relazione di diretta proporzionalità tra l'energia irradiata dal corpo e la quarta potenza della temperatura, e si uniforma perfettamente alle previsioni. La legge di Wien, chiarisce l'emissione della radiazione, che non viene emessa tutta allo stesso modo, bensì a picchi: nello specifico la lunghezza d'onda della radiazione e la temperatura sono inversamente proporzionali, da qui prende forma la relazione del colore con la lunghezza d'onda della radiazione. Ed ultima la legge di Rayleigh-Jeans, un tentativo di descrivere lo spettro d'emissione, evidenziando che l'intensità della radiazione emessa da un corpo nero è proporzionale alla sua temperatura e inversamente proporzionale alla quarta potenza della lunghezza d'onda: questa formulazione risulterà ben presto inesatta. Difatti la curva sperimentale coincide con quella teorica solo posta una precisa condizione: la lunghezza d'onda deve essere necessariamente grande, oscillando tra valori entro cui la legge rimane valida.

Lo sconvolgimento si presenta quando si mettono in ballo lunghezze d'onda molto piccole (in matematica si dice che la lunghezza d'onda tende a 0), poiché la curva teorica non coinciderà più con quella sperimentale: l'area sottesa dalla curva tende ad essere infinita al diminuire della lunghezza d'onda, ciò si traduce letteralmente in un'energia emessa ad un valore tendente ad infinito, causando la cosiddetta catastrofe ultravioletta; laddove in fisica si presenta un infinito, implica di conseguenza una grande crisi. La legge di Rayleigh-Jeans descrive l'energia come una funzione continua, quest'approccio come viene intuito dal geniale fisico Max Planck, non era probabilmente il più adatto alla risoluzione di tale problema, per questa ragione ritiene necessaria una rielaborazione dell'ipotesi primaria inderogabile ad affrontare tale studio. Planck lavorerà sulla radice dell'intuizione che ha portato i suoi colleghi ad arrivare alla catastrofe e capirà che l'energia, che si crede essere trasmessa e riflessa nel corpo nero in maniera continua, lo fa in realtà in discontinuità, ossia per pacchetti di energia finita, quantizzati. E' una scoperta sensazionale, immaginiamo di dover

contare da 1 a 2, passando attraverso tutti i valori decimali interposti tra questi due interi, non finiremmo mai di farlo in quanto tali valori risultano infiniti: questo approccio è quello utilizzato dai fisici prima della scoperta di Planck. Ora però immaginiamo di possedere due monete da 1 euro e due da 0.5 euro, per arrivare a 2 euro posso farlo attraverso due procedimenti differenti: ad 1 euro posso aggiungere le mie due monete da 0.5 euro, oppure decido di arrivarci con due monete da 1 euro. La risoluzione quantistica prediletta da Planck è la seconda: viene fatto uso di soli multipli interi di un valore discreto di riferimento che in questo esempio è la moneta da 1 euro. Planck rielabora la formula di R-J, sostenendo la trasmissione quantizzata dell'energia, in pacchetti di energia discreta descritti dall'equazione  $E=hf$ , dove E è il quanto di energia, f la frequenza dello specifico quanto e h la costante di Planck, che permea tutto il formalismo della meccanica quantistica. Le radiazioni in queste cavità sono assimilabili ad oscillatori (le particelle oscillano), tant'è che l'energia viene emessa proprio in relazione al fatto che la radiazione colpisce le molecole e iniziano ad oscillare;

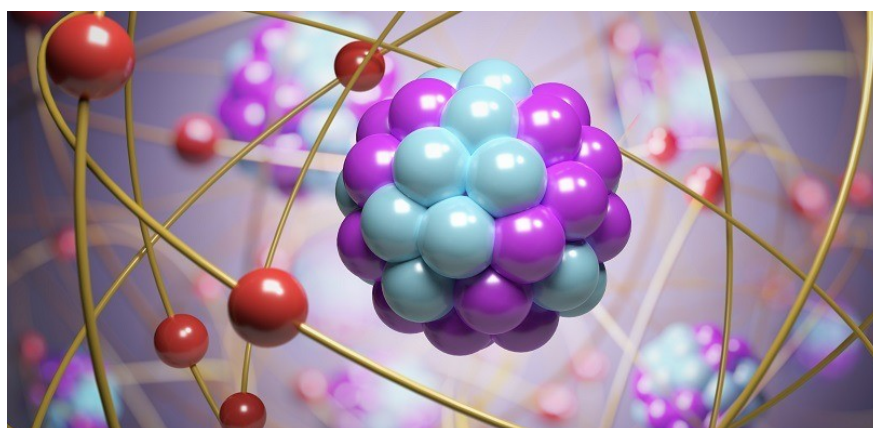
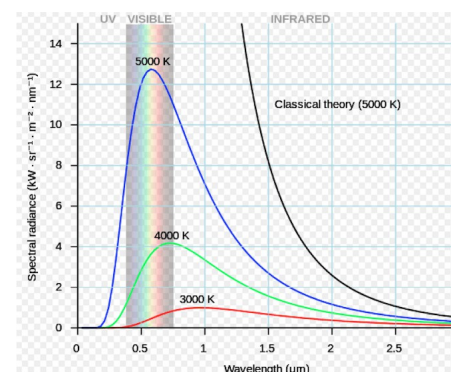
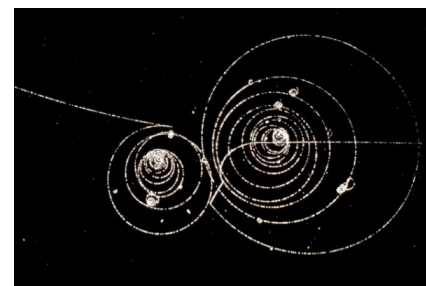
Planck pensa che queste molecole si leghino fortemente alla parete e l'energia della radiazione potrebbe avere una frequenza inidonea a farle oscillare, ciò è dovuto alla natura discontinua della funzione che esprime l'energia. Il corpo nero emette più facilmente radiazione a determinate frequenze piuttosto che altre, perciò alla base dei dati raccolti, è possibile graficare su stima probabilistica l'evento fisico, e il risultato sarà un grafico avente un picco corrispondente ai valori vicini alla frequenza della radiazione maggiormente emessa. L'idea di Planck si fermava all'ipotesi secondo la quale l'energia fosse quantizzata solamente nell'istante di trasferimento, ben presto però Einstein dimostrerà che in realtà lo è sempre, tramite lo studio dell'effetto fotoelettrico nel quale viene introdotto il fotone (quanto di luce), il quale impatta sulle superfici di metalli, da cui balzeranno gli elettroni (liberi nel reticolo) a patto che la frequenza di radiazione del fotone corrisponda al valore preciso da consentire il distacco degli elettroni. Queste scoperte danno il via ad un periodo avveniristico per i fisici che proporranno modelli atomici alla base di questa scoperta: il modello di Niels Bohr si sofferma sul fatto che gli elettroni

possono orbitare attorno al nucleo di un atomo di idrogeno in specifiche orbite stazionarie caratterizzate da una certa energia. Questi livelli energetici sono quantizzati, cioè solo certe energie sono permesse, perciò un elettrone può passare da un livello energetico all'altro solo assorbendo o emettendo un fotone, la cui energia corrisponde alla differenza di energia tra i due livelli: l'elettrone ha compiuto una transizione o salto quantico. Ma questo rimane un modello prettamente deterministico in quanto presenta il concetto di orbite definite, perciò i modelli successivi sono descritti da particolari operatori che prendono il nome di funzione d'onda, e rappresentano la probabilità di trovare un elettrone in una certa regione di spazio attorno al nucleo, chiamati orbitali atomici. La natura duale delle particelle subatomiche è un concetto intrinseco alla meccanica quantistica, l'esperimento della doppia fenditura chiarisce il modo in cui il puro atto d'osservazione influenza lo stato di una particella, difatti immaginando di sparare un grosso numero di elettroni attraverso questa fenditura e di osservare il fenomeno, otterremmo una determinata configurazione sullo schermo, che evidenzia come questi elettroni siano

caratterizzati da natura corpuscolare. Ma se in un secondo momento decidessi di rifare l'esperimento lasciando che l'attrezzatura inizi a sparare elettroni contro la doppia fenditura senza alcun osservatore presente, i risultati a schermo corrisponderebbero ad un modello d'interferenza tipico delle onde. Questo esperimento ci porta a riflettere sul fatto che il semplice atto dell'osservazione influenza pesantemente gli esiti della mia misurazione, siccome nel mondo microscopico ci sono state delle interazioni tra i fotoni che rendono visibile l'evento fisico, e l'elettrone stesso che subisce un'alterazione: lo studio delle sorti del moto dell'elettrone è imprevedibile, il suo stato quantistico è descritto dalla funzione d'onda menzionata precedentemente. Uno dei capisaldi di questo nuovo studio della natura è correlato a questo fenomeno, si tratta del principio di Indeterminazione di Heisenberg, che enuncia l'incertezza nella misura simultanea delle due grandezze attribuite allo stato di moto di una particella, ossia l'impulso e la posizione, ed esclude la validità delle precedenti teorie deterministiche, secondo le quali bisognava semplicemente conoscere le condizioni al contorno

del moto per conoscere la vita di una particella nella sua interezza. Del resto se volessi conoscere la posizione di una particella devo individuarla innescando un'interazione tra i fotoni e la particella stessa come nel caso precedente, azione che però genera un'incertezza nella misura; per mediare a questo problema si può pensare di diminuire la frequenza della radiazione elettromagnetica grazie alla quale osservo la particella, tuttavia a lunghezze d'onda infine diviene infattibile la sua visibilità. Queste scoperte hanno suggestionato la ricerca frenetica di risposte da parte di tutti i pionieri che cercano di rendere meno paradigmatica la questione quantistica, ciononostante la nascita di interrogativi procede in via esponenziale man mano che vengono assolte delle crisi. Le domande recenti che investono i fisici contemporanei, riflettono la vastità del Cosmo e quanto quest'ultimo sia “Quantistico”, un esempio preponderante di ricerca attiva è l'analisi di un oggetto mostruoso e straordinariamente affascinante che prende il nome di buco nero, elemento dotato di un'attrazione gravitazionale tanto elevata da riuscire ad attrarre a sé persino la luce.

Riguardo questi imperatori galattici non si sa molto, ma alla base degli sforzi condotti la ricerca scientifica è impegnata nello sviluppo di teorie unificazione tra la teoria quantistica e quella relativistica. E' evidente che siano rimasti in sospenso molti interrogativi, e ci si aspetta che una scoperta rivoluzionaria come quella del ventesimo secolo ci possa fornire un solido aiuto, conducendoci allo sviluppo di nuove tecnologie, all'implementazione di nuovi modelli culturali, e al chiarimento (apparente ed effimero) dei paradossi e dilemmi che colpiscono la comunità scientifica.



Fonti:  
Wikipedia  
Chimica-online

## ANTIMATERIA E ANTIPARTICELLE

L'antimateria è uno degli argomenti più affascinanti e misteriosi della fisica teorica e sperimentale, una risorsa che ha il potenziale di rivoluzionare la nostra comprensione del cosmo. Per secoli, gli scienziati hanno cercato di comprendere il comportamento della materia, ma l'esistenza dell'antimateria ha messo in discussione e ampliato questa visione, aprendo nuove strade per il progresso scientifico. La comprensione dell'antimateria e delle antiparticelle è essenziale per risolvere uno dei problemi più grandi della fisica contemporanea: l'asimmetria tra materia e antimateria nell'universo.

### Le origini teoriche dell'antimateria.

Il concetto di antimateria risale agli inizi del XX secolo e si deve principalmente agli studi di Paul Dirac, un fisico britannico che nel 1928 pubblicò un'equazione fondamentale che unificava la teoria quantistica e la relatività speciale di Einstein. L'equazione di Dirac prevedeva, non solo l'esistenza di particelle come l'elettrone, ma anche delle particelle simili, ma con cariche opposte. Queste particelle, che Dirac definì antiparticelle, erano in realtà le "nemiche" delle particelle ordinarie, con la stessa massa

Ma cariche elettriche opposte. Per esempio, l'antiparticella dell'elettrone, che ha una carica negativa, è il positrone, che possiede una carica positiva. La predizione teorica di Dirac rappresentò una vera e propria rivoluzione, tanto che si è guadagnato il Premio Nobel per la fisica nel 1933 per la sua scoperta. Sebbene Dirac avesse previsto la possibilità dell'antimateria, la sua esistenza non era ancora stata confermata sperimentalmente. Fu solo qualche anno dopo che questa teoria divenne realtà.

### La scoperta delle antiparticelle

Nel 1932, l'americano Carl Anderson, mentre studiava i raggi cosmici in un esperimento condotto in un'apposita camera a nebbia, osservò una traccia che sembrava essere quella di una particella con la stessa massa di un elettrone, ma con carica positiva. Anderson identificò questa particella come il positrone, confermando le predizioni di Dirac. Questa scoperta segna la prima osservazione sperimentale di un'antiparticella, e lo stesso Anderson ricevette il Premio Nobel per la Fisica nel 1936 per questa scoperta. L'osservazione del positrone aprì la strada ad altre scoperte.

Negli anni successivi, vennero individuati l'antiproton (l'antiparticella del protone) e l'antineutrone (l'antiparticella del neutrone). Queste scoperte confermarono che ogni particella subatomica ha una controparte di antimateria, creando un'armonia tra la teoria e l'esperimento.

### Cos'è l'antimateria?

L'antimateria è un tipo di materia costituita da antiparticelle, che sono le controparti di carica opposta alle particelle che costituiscono la materia "normale". Ogni particella della materia ordinaria ha un'antiparticella corrispondente, e viceversa. Ad esempio, l'elettrone, che è una particella carica negativamente, ha come antiparticella il positrone, che è carico positivamente. Un altro esempio è il protone, che ha come antiparticella l'antiprotone, carico negativamente, e il neutrone, che ha come antiparticella l'antineutrone. Quando una particella incontra la sua antiparticella, avviene un processo chiamato annichilazione, in cui entrambe le particelle vengono distrutte, liberando una grande quantità di energia sotto forma di fotoni (raggi gamma). Il fenomeno dell'annichilazione è particolarmente interessante per la fisica e la tecnologia.



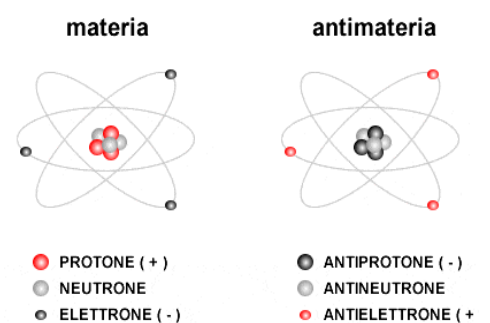
La quantità di energia prodotta in questo processo è enorme rispetto alle reazioni chimiche che siamo abituati a osservare, ed è pari a quella prevista dalla famosa formula di Einstein,  $E=mc^2$ , dove  $E$  è l'energia,  $m$  è la massa e  $c$  è la velocità della luce. Questo implica che l'annichilazione di una piccola quantità di antimateria possa liberare una quantità di energia molto superiore a quella ottenuta da qualsiasi reazione nucleare. Una delle domande più affascinanti e complesse che la fisica deve ancora risolvere è il motivo per cui l'universo sembra essere fatto quasi esclusivamente di materia, nonostante la teoria del Big Bang preveda che materia e antimateria siano state create in proporzioni uguali. Secondo il modello standard della cosmologia, durante il Big Bang, materia e antimateria si sarebbero formate in quantità simili, ma, per qualche ragione ancora sconosciuta, la materia ha prevalso, mentre l'antimateria è praticamente scomparsa. Questo fenomeno è conosciuto come asimmetria materia-antimateria. Se materia e antimateria fossero state create in egual misura, l'universo che osserviamo oggi sarebbe completamente diverso. Le annichilazioni tra materia e antimateria avrebbero dovuto eliminare entrambe, lasciando dietro di sé solo radiazione.

Ma la realtà è ben diversa: la materia che costituisce le stelle, i pianeti, e anche noi stessi, sembra essere l'unica che sia sopravvissuta. Questa discrepanza è uno dei più grandi misteri della fisica moderna e rappresenta una delle sfide principali per i cosmologi e i fisici delle particelle. Gli scienziati stanno cercando di risolvere questo enigma studiando la violazione delle simmetrie fisiche. In particolare, la violazione di simmetria CP (carica-parità), che descrive come le particelle e le antiparticelle si comportano in situazioni simili, è stata osservata in alcune interazioni delle particelle subatomiche. Questo potrebbe spiegare in parte la predominanza della materia sull'antimateria, ma non è ancora chiaro come.

### Produzione e utilizzo dell'antimateria

La produzione di antimateria in laboratorio è un processo molto complesso e costoso. Negli acceleratori di particelle come il CERN (Organizzazione Europea per la Ricerca Nucleare), i ricercatori accelerano particelle a velocità estremamente elevate e le fanno collidere. Quando queste particelle si scontrano, l'energia liberata può creare coppie di particelle e antiparticelle. Per esempio, in una collisione tra protoni ad alta energia, possono formarsi positroni e antiprotone, ma la quantità di antimateria prodotta

è estremamente piccola, nell'ordine di miliardesimi di grammo. Nonostante il costo elevato e la difficoltà di produzione, l'antimateria ha un'importante applicazione pratica in medicina. La Tomografia a Emissione di Positroni (PET) è una tecnica di imaging che sfrutta i positroni per ottenere immagini tridimensionali delle strutture interne del corpo umano. La PET è uno strumento diagnostico fondamentale, particolarmente nella rilevazione di tumori, malattie cardiache e neurologiche.



Fonti:  
 Wikipedia  
<https://w3.infn.it/cosa-ce-ancora-da-scoprire-sullantimateria/>

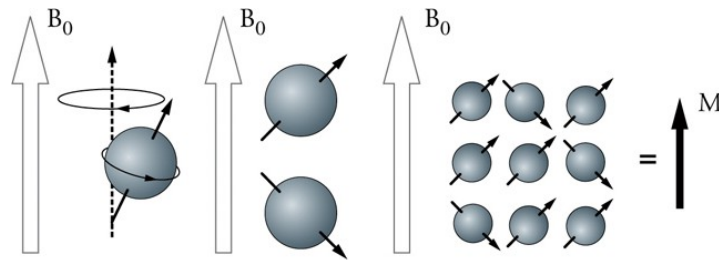
## LA RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE

La risonanza magnetica nucleare (RM) è una delle tecnologie più rivoluzionarie in campo medico, utilizzata per ottenere immagini dettagliate degli organi e dei tessuti interni del corpo umano senza ricorrere a radiazioni ionizzanti. L'aggettivo "nucleare" si riferisce al fatto che il segnale di densità in RM proviene dal nucleo atomico dell'elemento esaminato, a differenza delle più diffuse tecniche di imaging radiologico, in cui la densità radiografica è determinata dalle caratteristiche degli orbitali elettronici degli atomi. La sua applicazione ha trasformato la diagnosi e il monitoraggio di numerose patologie, ma il suo funzionamento si basa su principi fisici complessi. Nel 1971, presso la Stony Brook University, Paul Lauterbur sperimentò l'applicazione di gradienti di campo magnetico nelle tre dimensioni e l'utilizzo di una tecnica di retroproiezione per generare immagini. I primi risultati, che consistevano in immagini di due tubi d'acqua, furono pubblicati sulla rivista Nature. Successivamente, Lauterbur ottenne immagini di un organismo vivente, tra cui una vongola, e nel 1974 realizzò la prima immagine della cavità toracica di un topo.

Questo metodo innovativo venne inizialmente denominato "zeugmatografia", ma il termine fu in seguito sostituito con "imaging a risonanza magnetica". Negli ultimi anni del decennio, Lauterbur e il fisico Peter Mansfield svilupparono tecniche avanzate, tra cui l'imaging eco-planare (EPI), che permisero ulteriori progressi nella tecnologia. L'evoluzione dei semiconduttori ha giocato un ruolo cruciale nell'affermarsi della risonanza magnetica, poiché questa tecnologia richiede elevate capacità di calcolo. Ciò è stato reso possibile grazie all'aumento esponenziale del numero di transistor su un singolo circuito integrato. Per le loro scoperte rivoluzionarie sull'imaging a risonanza magnetica, Mansfield e Lauterbur furono insigniti del premio Nobel per la fisiologia o la medicina nel 2003. La RM si basa sull'interazione tra campi magnetici, onde radio e il comportamento dei nuclei atomici, in particolare quelli di idrogeno. L'idrogeno è scelto principalmente per la sua abbondanza nel corpo umano, essendo un componente fondamentale delle molecole d'acqua e dei grassi, che costituiscono una grande parte dei tessuti.

Inoltre, il nucleo di idrogeno, composto da un singolo protone, possiede un momento magnetico molto pronunciato che lo rende altamente sensibile ai campi magnetici e alle radiofrequenze, facilitando la generazione di segnali di alta qualità per l'imaging. L'intero processo di imaging magnetico ruota attorno a tre componenti fondamentali: il campo magnetico principale, l'impulso di radiofrequenza (RF) e il rilassamento nucleare. Il nostro corpo, com'è noto, è composto per circa il 60% di acqua, la quale contiene protoni, che ruotano generando un loro campo magnetico. Al centro di uno scanner per RM vi è un potente magnete, il quale genera un campo magnetico statico uniforme, indicato con  $B_0$ . Questo campo magnetico allinea i momenti magnetici dei nuclei di idrogeno, i quali, in assenza di  $B_0$ , sono orientati in modo casuale. Quando esposti a  $B_0$ , alcuni nuclei si allineano lungo il campo magnetico principale, creando una magnetizzazione netta che rappresenta la base per la generazione del segnale di RM. È importante notare che i nuclei non si allineano perfettamente, ma precessano attorno alla direzione di  $B_0$ .

Questo movimento di precessione avviene a una frequenza specifica, chiamata frequenza di Larmor, data dalla relazione:  $\omega = -\gamma B$  dove  $\omega$  è la frequenza angolare,  $\gamma$  è il rapporto giromagnetico (una costante caratteristica di ogni tipo di nucleo) e  $B$  è l'intensità del campo magnetico. Per l'idrogeno, è di circa 42,58 MHz/Tesla. A questo punto, i tecnici avviano una radiofrequenza che se corrisponde alla frequenza di Larmor, provoca l'assorbimento di energia da parte dei nuclei, e la loro stessa eccitazione, la quale li farà spostare dalla loro posizione di equilibrio. Questo impulso, provoca un'inclinazione della magnetizzazione netta, che si allontana dall'asse longitudinale (parallelo a  $B_0$ ) per raggiungere un piano trasversale. La durata e l'intensità dell'impulso RF determinano l'ampiezza dell'inclinazione. Ad esempio, un "impulso a 90 gradi" sposta completamente la magnetizzazione netta nel piano trasversale, dove diventa rilevabile dalle antenne riceventi dello scanner. Il fornire questa energia alla stessa frequenza di precessione è il fenomeno che dà il nome "risonanza" al metodo; si tratta dello stesso principio per cui fornendo la spinta al momento giusto, si può aumentare l'ampiezza delle oscillazioni di un'altalena



Dopo l'interruzione dell'impulso RF, gli spin dei protoni tenderanno a tornare al loro stato iniziale di allineamento lungo il campo (fenomeno di rilassamento) attraverso due processi:

**-Rilassamento**

**longitudinale (T1):** rappresenta il tempo impiegato dai nuclei per riallinearsi con il campo magnetico principale. La costante di tempo T1 varia in base al tipo di tessuto e fornisce informazioni utili per distinguere tra diverse strutture anatomiche.

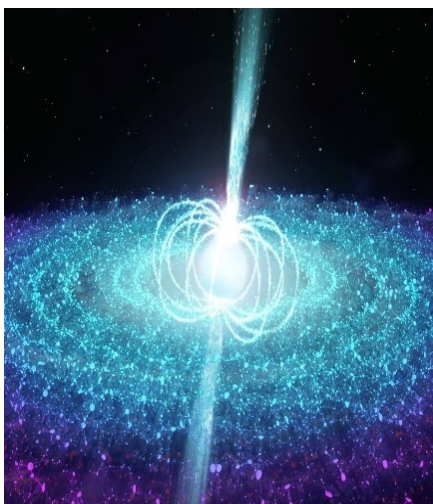
**-Rilassamento trasversale (T2):** descrive il tempo necessario per la perdita di coerenza nella precessione dei nuclei nel piano trasversale. Questo processo è influenzato dalle interazioni locali tra i nuclei e varia anch'esso in base alla composizione del tessuto. Il rilassamento T1 e T2 generano segnali elettrici rilevati dalle antenne dello scanner. Questi segnali vengono elaborati per costruire immagini dettagliate del corpo. Per ottenere immagini tridimensionali, è necessario introdurre gradienti di campo magnetico che variano l'intensità di  $B_0$  lungo diverse direzioni spaziali.

Questi gradienti consentono di localizzare i segnali provenienti da specifiche regioni del corpo. Un ruolo cruciale è svolto dalla trasformata di Fourier, un algoritmo matematico che permette di tradurre i segnali complessi registrati dallo scanner in informazioni spaziali precise. In particolare, i segnali emessi dai nuclei, caratterizzati da specifiche frequenze di Larmor e modulazioni spaziali, vengono scomposti in componenti elementari. La trasformata di Fourier analizza queste componenti per identificarne l'intensità e la posizione. Attraverso questo processo, è possibile ricostruire immagini bidimensionali o tridimensionali dettagliate, dove ogni pixel rappresenta una diversa regione anatomica con il relativo contrasto basato sui tempi di rilassamento T1 e T2. Questa elaborazione consente di ottenere mappe dettagliate di contrasto T1 e T2, che aiutano a identificare anomalie nei tessuti.

Fonti:  
 Wikipedia  
[https://www.dmf.unisalento.it/~denunzio/allow\\_listing/CORSO\\_TIDM/MDonativi\\_MRI\\_11.pdf](https://www.dmf.unisalento.it/~denunzio/allow_listing/CORSO_TIDM/MDonativi_MRI_11.pdf)

## STELLE DI NEUTRONI

Una stella di neutroni è una stella compatta formata da materia degenere, la cui componente predominante è costituita da neutroni mantenuti insieme dalla forza di gravità. Si tratta di una stella degenere. È un corpo celeste massiccio di piccole dimensioni, avente altissima densità e massa generalmente compresa tra le 1,4 e le 3 masse solari. È il risultato del collasso gravitazionale del nucleo di una stella massiccia, che segue al termine delle reazioni di fusione nucleare per l'esaurimento degli elementi leggeri al suo interno, e rappresenta l'ultimo stadio di vita di stelle con massa molto grande.



Le stelle di neutroni hanno una massa simile a quella del Sole, sebbene il loro raggio sia di qualche decina di chilometri, vale a dire diversi ordini di grandezza inferiore.

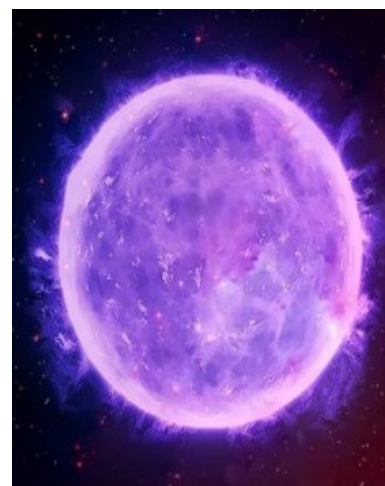
La loro massa è concentrata in un volume di  $7 \times 10^{13}$  m<sup>3</sup>, circa 10<sup>14</sup> volte più piccolo e la densità media è quindi 10<sup>14</sup> volte più alta. Tali valori di densità sono i più alti conosciuti e impossibili da riprodurre in laboratorio. Si tratta di una densità simile a quella dei nuclei atomici, ma estesa per decine di chilometri. In effetti, le stelle di neutroni possono essere considerate nuclei atomici giganti tenuti insieme dalla forza gravitazionale, che non collassano grazie all'effetto repulsivo della pressione di degenerazione neutronica, dovuto al principio di esclusione di Pauli, e all'effetto repulsivo della forza forte, secondo il limite di Tolman-Oppenheimer-Volkoff.



A causa della massa compressa in piccole dimensioni, una stella di neutroni possiede un campo gravitazionale superficiale cento miliardi (10<sup>11</sup>) di volte più intenso di quello della Terra.

Una delle misure di un campo gravitazionale è la sua velocità di fuga, cioè la velocità che un oggetto deve avere per potergli sfuggire; sulla superficie terrestre essa è di circa 11 km/s, mentre su quella di una stella di neutroni si aggira intorno ai 100000 km/s, cioè un terzo della velocità della luce.

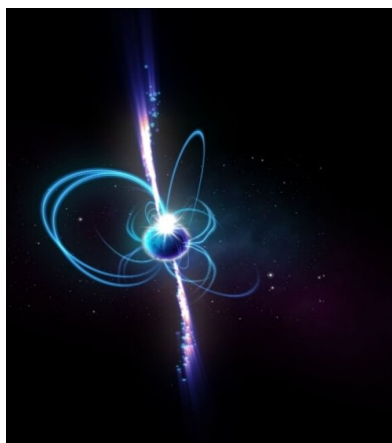
Le stelle di neutroni sono uno dei possibili stadi finali dell'evoluzione stellare e sono quindi a volte chiamate stelle morte o cadaveri stellari. Si formano nelle esplosioni di supernova come il residuo collassato di una stella di grande massa.



La sua rotazione è spesso molto rapida: la maggior parte delle stelle di neutroni ruota con periodi da 1 a 30 s, ma alcune arrivano a pochi millesimi di secondo. Cominciando a scendere, si incontrano nuclei con quantità sempre più elevate di neutroni.

Ancora più in profondità si trova una soglia sotto la quale i neutroni liberi si separano dai nuclei e hanno un'esistenza indipendente. In questa regione si trovano nuclei, elettroni liberi e neutroni liberi. I nuclei diminuiscono andando verso il centro, mentre la percentuale di neutroni aumenta. La natura esatta della materia superdensa che si trova al centro non è ancora ben compresa. Alcuni ricercatori si riferiscono a essa come a una sostanza teorica, il neutronio.

Potrebbe essere una mistura superfluida di neutroni con tracce di protoni ed elettroni, potrebbero essere presenti particelle di alta energia come pioni e kaoni e altri speculano di materia composta da quark subatomici.



Nel 1932, Sir James Chadwick scoprì il neutrone, una nuova particella che gli valse il premio Nobel per la fisica del 1935. Nel 1934, Walter Baade e Fritz Zwicky proposero l'esistenza di stelle interamente composte di neutroni, dopo solo due anni dalla scoperta di Chadwick.



Cercando una spiegazione per le origini delle supernovae, proposero che queste producessero delle stelle di neutroni. Baade e Zwicky proposero correttamente che le supernovae sono alimentate dall'energia di legame gravitazionale della stella di neutroni in formazione. L'energia di legame di una tale stella di neutroni è equivalente, quando espressa in unità di massa usando la famosa equazione  $E=mc^2$ , a una massa solare. È in ultima analisi questa energia che alimenta la supernova.

### ROTAZIONE DELLE STELLE DI NEUTRONI

Le stelle di neutroni ruotano rapidamente dopo la loro formazione per la conservazione del momento angolare, con velocità iniziali che possono raggiungere decine di rotazioni al secondo. In sistemi binari, possono accelerare fino a migliaia di rotazioni al secondo, deformandosi in ellissoidi e diventando pulsar ultrarapide.

Nel tempo, rallentano a causa del frenamento magnetico, un processo dovuto all'irradiazione di energia dai loro campi magnetici rotanti. Il rallentamento è molto lento ma misurabile con strumenti precisi. A volte, subiscono glitch, improvvisi aumenti di velocità dovuti a riorganizzazioni interne o al movimento del superfluido al loro interno.



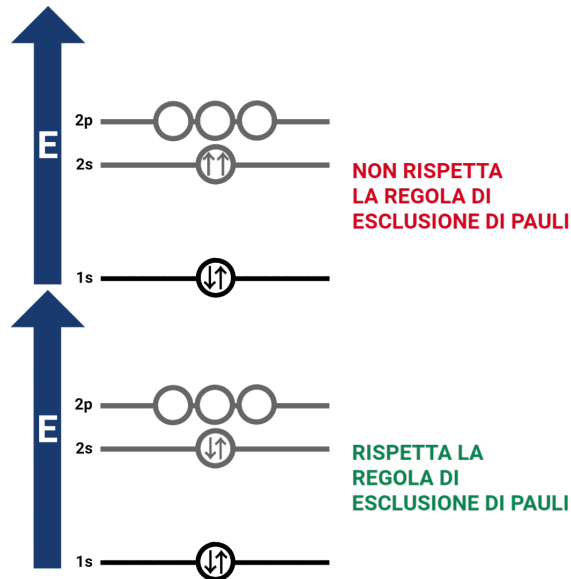
### Il fenomeno di Pulsar

Le stelle di neutroni possiedono campi magnetici estremamente intensi, fino a 100 miliardi di volte quello terrestre, che incanalano la materia lungo le linee di campo. Gli elettroni emettono raggi X e gamma quando raggiungono il limite in cui non possono più coruotare con la stella, creando impulsi osservabili detti pulsar.

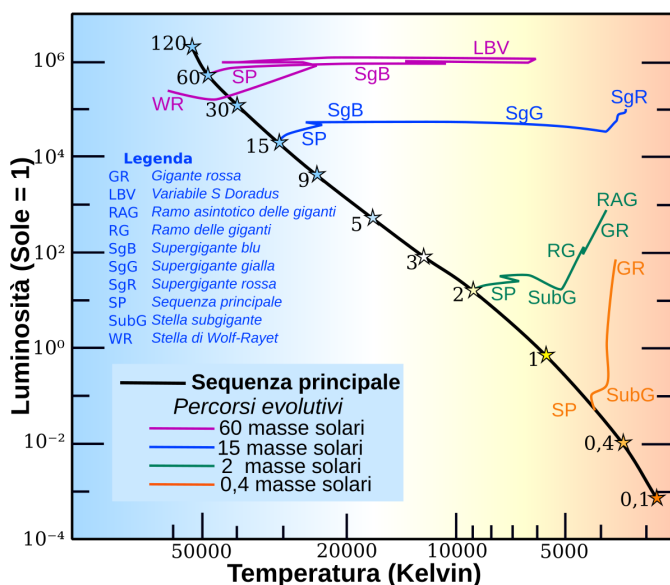


Inizialmente, si ipotizzò che tali impulsi fossero segnali extraterrestri, ma vennero presto compresi come fenomeni naturali.

Un tipo speciale di stella di neutroni è la magnetar, con campi magnetici ancora più potenti, fino a 10 gigatesla o più. Questi campi possono avere effetti estremi, ipoteticamente letali da grandi distanze, ma tali condizioni non sono replicabili con la tecnologia attuale.



<p><b>ESPULSIONE DI PAULI</b></p>	<p>è un principio della meccanica quantistica secondo cui due fermioni identici non possono occupare simultaneamente lo stesso stato quantico. Fu formulato da Wolfgang Pauli nel 1925.</p>
<p><b>LIMITE DI TOLMAN-OPPENHEIMER-VOLKOFF</b></p>	<p>Il limite di Tolman-Oppenheimer-Volkoff è un limite superiore per la massa di stelle composte di materia degenere (come una stella di neutroni). È analogo al limite di Chandrasekhar per le nane bianche.</p>

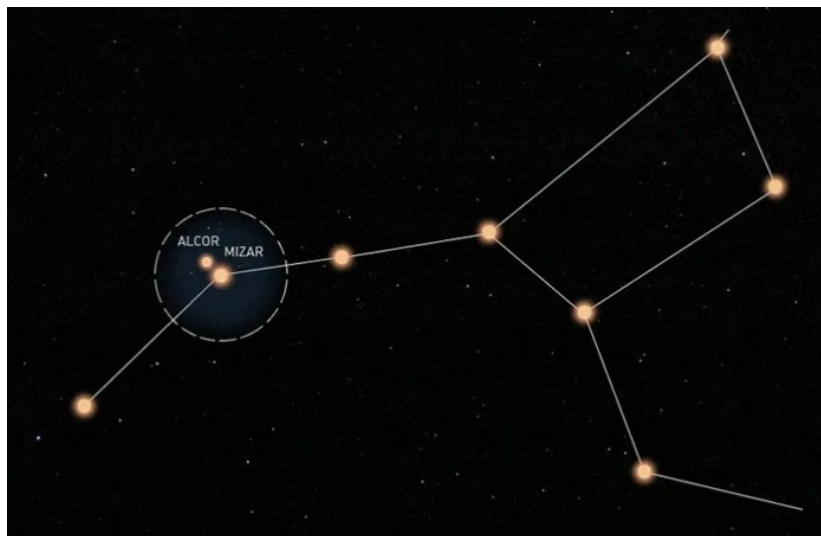


Fonti:  
Wikipedia

## MIZAR

Nel cuore della costellazione dell'Orsa Maggiore, facilmente individuabile anche ad occhio nudo, brilla la stella Mizar, una delle più celebri e studiate dell'intero cielo notturno. Situata nella "barra" del Grande Carro, Mizar è una vera protagonista dell'astronomia antica e moderna, grazie alla sua importanza storica e scientifica.

Mizar è celebre per essere stata la prima stella binaria scoperta con un telescopio. Nel 1650, l'astronomo italiano Giovanni Battista Riccioli osservò, attraverso un telescopio, che non era una stella singola, ma una coppia di stelle molto vicine. Con una magnitudine apparente di circa 2.2, Mizar è facilmente visibile anche dai luoghi poco illuminati, attirando l'attenzione di curiosi e astrofili. Si trova a una distanza di circa 84 anni luce dalla Terra, un dettaglio che la colloca relativamente vicino, rendendola un laboratorio naturale per lo studio dell'evoluzione stellare. Grazie alle tecnologie moderne, come i telescopi spaziali e i radiotelescopi, gli scienziati continuano a osservare Mizar, esplorandone le dinamiche interne e la sua interazione



con il vicino sistema di Alcor, che potrebbe essere a sua volta legato gravitazionalmente a Mizar. Oltre alla sua importanza scientifica, essa ha ispirato storie e tradizioni in molte culture. Gli antichi greci, gli arabi e altre civiltà avevano un profondo legame con questa stella, che serviva sia come guida per i viaggiatori sia come elemento simbolico nei loro miti.

La prossima volta che osserverete il Grande Carro, prendetevi un momento per individuare questa stella straordinaria: un punto luminoso nel cielo che, da secoli, affascina l'umanità con il suo splendore e le sue storie.



ANTONIETTA GIUSY RASCIO, 5E

Fonti:  
Wikipedia

## BETELGEUSE

Betelgeuse, una delle stelle più conosciute nel cielo notturno, continua a destare curiosità tra gli astronomi e gli appassionati di astronomia. Situata nella costellazione di Orione, questa gigante rossa è famosa per la luminosità. Betelgeuse è nella fase finale del suo ciclo evolutivo e si prevede che esploderà in una supernova quando il suo nucleo esaurirà il combustibile nucleare. Negli ultimi anni, Betelgeuse è diventata un oggetto di particolare interesse per gli astronomi, non solo per il suo status di stella gigante rossa, ma anche per il fenomeno di diminuzione della luminosità. Nel 2019, gli astronomi furono sorpresi da una diminuzione inaspettata della luminosità di Betelgeuse, un fenomeno che durò per mesi. Questo oscuramento fu attribuito a vari fattori, tra cui la possibilità che la stella stesse espellendo una grande quantità di polvere, che oscurava la luce che raggiungeva la Terra. Gli studi condotti con il telescopio spaziale Hubble e altre osservazioni nell'ultravioletto hanno rivelato che la diminuzione di luminosità potrebbe essere stata causata da una combinazione di fenomeni, tra cui la formazione

di una nuvola di polvere che ha parzialmente coperto la superficie stellare.

Le misurazioni recenti suggeriscono che Betelgeuse potrebbe essere in una fase di instabilità di lunga durata, ma non ci sono prove concrete che l'esplosione come supernova sia imminente. La compagna di Betelgeuse è una stella di tipo difficilmente rilevabile, probabilmente una gigante rossa di massa simile o inferiore a quella di Betelgeuse

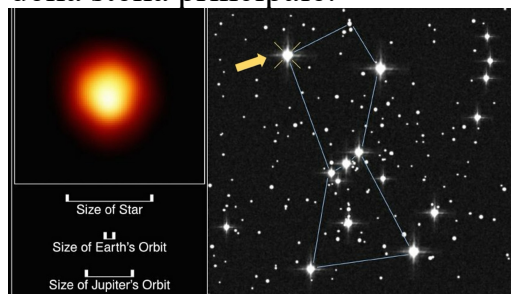
stessa. Nonostante l'orbita e le caratteristiche precise della stella compagna non siano completamente risolte, le osservazioni suggeriscono che Betelgeuse e la sua compagna possano essere parte di un sistema binario. Le interazioni tra le due stelle in un sistema binario possono avere effetti significativi sull'evoluzione stellare di entrambe le componenti. La presenza di una compagna potrebbe anche spiegare alcune delle irregolarità osservate nella luminosità e nella forma della stella principale.

Gli astronomi continuano a monitorare Betelgeuse e il suo sistema binario con tecniche avanzate come la spettroscopia e le osservazioni ad alta risoluzione, con l'obiettivo di comprendere meglio la dinamica tra le due stelle e come questa influisce sull'evoluzione dell'intero sistema.

In sintesi, sebbene la stella compagna di Betelgeuse non sia visibile a occhio nudo, essa rappresenta un elemento importante nello studio di questo affascinante sistema stellare.



VIOLA Battaglia, 3H





## ANTARES

Antares, una delle stelle più luminose e iconiche del cielo notturno, è un vero gioiello cosmico. Situata nella costellazione dello Scorpione, questa supergigante rossa è riconoscibile per il suo colore rosso intenso e per la sua posizione centrale che le conferisce il soprannome di "Cuore dello Scorpione". In questo articolo esploreremo le sue caratteristiche fisiche, il suo ruolo nell'universo e la sua importanza culturale. Antares è una stella supergigante rossa di classe spettrale M1.5Iab, situata a circa 550 anni luce dalla Terra. Con un diametro di circa 700 volte quello del Sole, se fosse posizionata al centro del nostro Sistema Solare, il suo bordo esterno si estenderebbe oltre l'orbita di Marte. La temperatura superficiale di Antares è relativamente bassa, circa 3.500 K, il che le conferisce il suo caratteristico colore rosso-arancione.

Nonostante la sua bassa temperatura, è estremamente luminosa, con una luminosità circa 10.000 volte superiore a quella del Sole. Questa intensa luminosità è dovuta alla sua enorme superficie, che emette una grande quantità di energia. Antares è anche una stella variabile, con fluttuazioni nella sua luminosità causate da cambiamenti nella sua

superficie e nella sua atmosfera. Come molte altre supergiganti rosse, sta vivendo le ultime fasi della sua evoluzione stellare e probabilmente finirà la sua vita in una spettacolare esplosione di supernova. Antares è parte di un sistema binario. La sua compagna, Antares B, è una stella di sequenza principale di tipo B, più piccola e molto meno luminosa rispetto alla supergigante rossa. La vicinanza di Antares A e B rende difficile osservare la compagna senza strumenti avanzati, ma i telescopi moderni sono in grado di separare le due stelle e studiare le loro interazioni. Antares ha avuto un ruolo centrale in molte culture. Gli antichi Greci la chiamavano "Anti-Ares" ("Contro Marte") per il suo colore rosso che ricorda il pianeta Marte. Per i Babilonesi, era una delle quattro "Stelle Reali" che segnavano i punti cardinali del cielo. Nella cultura araba, era conosciuta come "Şimāk al-'Aqrab" ("Il Cuore dello Scorpione"). Antares è anche un punto di riferimento nella navigazione celeste, utilizzata da marinai e astronomi per determinare la posizione durante i viaggi.

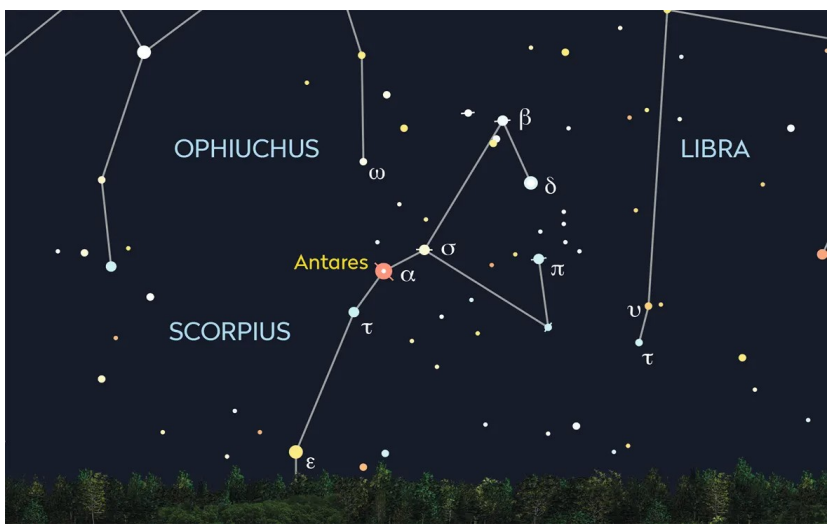
Inoltre, è stata una fonte di ispirazione per la mitologia, la letteratura e persino l'astronomia moderna. Come supergigante rossa, Antares sta esaurendo il combustibile nucleare nel suo nucleo. Attualmente, sta fondendo elementi più pesanti dell'idrogeno, come l'elio e il carbonio. Questo processo di fusione è instabile e provoca la perdita di grandi quantità di massa attraverso venti stellari intensi. Nel giro di pochi milioni di anni, Antares esploderà in una supernova, rilasciando enormi quantità di energia e contribuendo alla formazione di nuovi elementi nell'universo. I resti di questa esplosione potrebbero formare una stella di neutroni o un buco nero, a seconda della massa residua. Antares è visibile ad occhio nudo nelle notti estive nell'emisfero boreale e nelle notti invernali nell'emisfero australe. Per osservatori nell'emisfero nord, si trova bassa sull'orizzonte meridionale. A causa della sua brillantezza, è facilmente individuabile anche in cieli moderatamente inquinati. Con l'aiuto di un telescopio, si possono osservare dettagli più fini, come il colore intenso della stella e, con strumenti avanzati, anche la sua compagna Antares B.

Fotografare Antares richiede un'esposizione breve per catturare la sua luminosità senza saturare l'immagine. Antares non è solo una delle stelle più affascinanti del cielo notturno, ma è anche un simbolo di trasformazione e rinascita nell'universo. La sua bellezza e il suo destino come futura supernova la rendono un oggetto di grande interesse per gli astronomi e un motivo di meraviglia per gli osservatori di tutto il mondo. Continuare a studiare Antares ci aiuta a comprendere meglio le fasi finali della vita delle stelle massicce e il ciclo cosmico della materia.



ANTONIO CRESCENZO, 4F

Fonti:  
Wikipedia



Autori:

**Adele Ambrosio IVF**

**Viola Battagliese IIIH**

**Antonio Crescenzo IVF**

**Rosita Carrato IVF**

**Denise Guida IVF**

**Riccardo D'Angiolillo IVF**

**Mattia Di Sabella IVA**

**Antonietta Giusy Rascio VE**

**Laura Schiavo IVF**

**Sara Ronca IVF**

Impaginazione: Adele Ambrosio

Responsabile: Paolo Bartoli



LICEO SCIENTIFICO STATALE

Leonardo da Vinci

Via Zaccaria Pinto, 1  
84078 Vallo della Lucania (SA)  
c.m. SAPS10000T  
c.f. 84000540652  
☎ 0974.4572  
✉ [SAPS10000T@istruzione.it](mailto:SAPS10000T@istruzione.it)  
✉ [SAPS10000T@pec.istruzione.it](mailto:SAPS10000T@pec.istruzione.it)  
✉ [liceoscientificov@tiscali.it](mailto:liceoscientificov@tiscali.it)