

*I.I.S. "Aldo Moro"*  
*Classe V Bs*

*Guido Dellarole*

## *La luce dell'Universo : le stelle*



*...Il cielo stellato sopra di me, la legge morale dentro di me...*  
*[I. Kant, Critica della Ragion Pratica]*

## *Indice generale*

### *Parte prima: Astronomia*

<i>Le Stelle</i>	3
1.1 La formazione delle stelle	3
1.2 La vita delle stelle	4
1.3 L'energia delle stelle	6
1.4 Le proprietà delle stelle	6
1.5 I moti stellari	7
<i>L'evoluzione delle stelle</i>	7
1.6 Le giganti rosse	10
1.7 Le nebulose planetarie	11
1.8 Le nane bianche	12
1.9 Le novae	13
1.10 Le supernovae	14
1.11 Le stelle di neutroni	16
1.12 I buchi neri	18
<i>Le stelle variabili</i>	19
1.13 Variabili geometriche e variabili fisiche	19
1.14 Le variabili Cefeidi	20
<i>Le stelle doppie</i>	21
<i>Le nebulose</i>	22

### *Parte seconda: Fisica*

<i>La Spettroscopia astronomica</i>	23
2.1 I tipi spettrali	23
2.2 Lo spettro delle radiazioni	25
2.3 Il diagramma H-R e i vari tipi di stelle	26
<i>La Fotometria astronomica</i>	28

*Parte terza: Inglese*

<i>Stephen William Hawking</i>	29
3.1 Biography	29
3.2 Research fields	29
<i>Olbers' Paradox</i>	30

*Parte quarta: Storia dell'arte*

<i>Vincent Van Gogh</i>	31
<i>La Notte stellata sul Rodano</i>	32

*Parte quinta: Italiano*

<i>Giacomo Leopardi</i>	34
<i>Le Ricordanze</i>	36

## *Le Stelle*

Una stella può essere definita come una sfera “autogravitante” di gas ad elevatissima temperatura (principalmente idrogeno ed elio), che produce energia attraverso un processo di fusione nucleare e la emette sotto forma di radiazione.

Le stelle si trovano a distanze elevatissime dal nostro sistema solare, e costituiscono la componente principale delle galassie che sono agglomerati di miliardi di stelle grandi e piccole, di nubi di gas e polvere.

Le stelle ci appaiono sulla sfera celeste raggruppate in insiemi, detti costellazioni. A molte stelle gli astronomi hanno attribuito nomi propri, per lo più di origine greca, araba o latina. Altre vengono classificate con il nome della costellazione a cui appartengono e una lettera dell'alfabeto greco, che indica la luminosità relativa a quella delle altre stelle della stessa costellazione (ad esempio, Alfa Tauri è la stella più brillante della costellazione del Toro, Beta Tauri la seconda, e così via).



### **1.1 La formazione delle stelle**

Le stelle si formano a causa del collasso gravitazionale di una nube interstellare di gas e polvere. Le nubi di gas interstellare sono molto grandi, con masse di gas fino ad un milione di volte quella del Sole, e hanno temperature molto basse, da circa una decina a poche centinaia di gradi sopra lo zero assoluto (cioè da  $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$  a pochi gradi centigradi sotto zero).

Queste nubi si trovano normalmente in equilibrio, nel senso che la forza di gravità che tenderebbe a farle collassare su se stesse è controbilanciata dalla pressione creata dal moto delle particelle al suo interno. A volte però questa pressione non è sufficiente, in certi punti la densità aumenta e la nube si contrae spontaneamente e lentamente sotto l'azione della propria gravità (centri di condensazione). E', probabilmente, attraverso

questo meccanismo che si formano le stelle di piccola massa, all'interno di nubi molto dense e oscure. Le stelle più massicce sembra che si formino invece per il collasso di nubi meno dense, causato da fattori esterni.

In realtà, le nubi di gas interstellare sono molto grandi e il loro collasso non da' origine ad una stella sola, ma ad un insieme di stelle (cioè un ammasso stellare), dopo aver subito una frammentazione in nubi più piccole. A loro volta, i frammenti possono dare origine o ad una stella singola o ad un sistema di più stelle che orbitano attorno ad un baricentro comune. Nella nostra galassia, per esempio, le stelle singole sono all'incirca la metà del totale. Le restanti sono raggruppate in sistemi doppi (la maggioranza) o anche multipli: sono stati osservati sistemi multipli composti di sei stelle. Le stelle doppie prendono anche il nome di sistemi binari.

Quando la nube si contrae, al suo interno le particelle di gas si muovono più rapidamente e il nucleo si riscalda. In questa fase, che prende il nome di protostella, la nube emette energia, anche se molto più debolmente di una stella, convertendo in radiazioni la sua energia gravitazionale. Durante questa fase, la protostella ha una temperatura superficiale di 2-3.000 gradi ed è ancora immersa nella nube di gas e polvere dalla quale si è originata. Generalmente si forma un disco di gas attorno alla protostella, gas che piano piano cade su di essa. La struttura a disco è molto comune nelle prime fasi della vita di una stella.

In questa fase la protostella e' oscurata dal materiale circostante e perciò poco luminosa; la polvere della nube circostante assorbe la radiazione emessa dall'oggetto, e la riemette a sua volta a frequenze più basse (nella regione infrarossa dello spettro, perciò le protostelle si possono rivelare in questa banda di lunghezze d'onda).

Durante la fase di protostella la stella attraversa delle fasi di instabilità, accompagnate da variazioni di luminosità sporadiche. Si hanno quindi le cosiddette variabili T Tauri, dal nome di una stella di questo tipo nella costellazione del Toro. Il gas e la polvere che circondano la stella vengono gradualmente spazzati via dai getti di gas e dal vento che essa emette.

## 1.2 La vita delle stelle

La protostella continua a contrarsi finché, al suo interno, non vengono raggiunte temperature abbastanza alte da poter dare inizio alla fusione nucleare; la protostella diventa una stella. A questo punto, l'energia che essa emette non è più prodotta dalla conversione della sua energia gravitazionale, ma a spese della propria massa: le reazioni termonucleari consistono infatti nella fusione di più nuclei atomici in un nucleo solo, di massa leggermente minore rispetto alla somma delle masse dei nuclei di partenza. La massa che viene persa nel processo è quella che si trasforma in energia secondo la legge

$$E = m c^2$$

Le moderne teorie dell'evoluzione stellare, unite alle osservazioni di come le stelle si distribuiscono nei vari intervalli di massa, hanno fissato questo limite inferiore a circa 0.08 volte la massa del Sole. Esiste, di conseguenza, anche un limite superiore per la massa di una stella, al di sopra del quale essa subisce delle instabilità e non può esistere in equilibrio. Questo limite è compreso tra 100 e 120 volte la massa del Sole. Il numero di stelle di una data massa rispetto al totale delle stelle che si formano dipende dai meccanismi con i quali le nubi protostellari si frammentano prima del collasso; la

probabilità che una stella di una certa massa si formi è inversamente proporzionale alla massa, cioè si formano più stelle piccole e meno stelle grandi.

Una stella si può pensare come una struttura stratificata, in cui ogni strato possiede un dato valore di temperatura, di densità e di pressione. Questi valori aumentano andando dalla superficie della stella verso il centro; questa struttura di gas si trova in equilibrio tra due forze opposte: quella gravitazionale diretta verso l'interno, e la pressione della radiazione prodotta nel nucleo della stella, che è diretta verso l'esterno. Durante tutta la vita della stella, che può durare anche decine di miliardi di anni, questo equilibrio viene sempre mantenuto, attraverso dei meccanismi di autoregolazione.

Nelle condizioni di altissime temperature e pressioni che si trovano all'interno delle stelle, i nuclei del gas sono molto vicini tra loro e si urtano ad alte velocità. La fusione di due o più nuclei avviene quando la pressione e la temperatura sono abbastanza alte perché essi possano vincere la loro repulsione elettromagnetica (dovuta al fatto che hanno una carica elettrica dello stesso segno). Le reazioni di fusione nucleare richiedono quindi due condizioni: una sufficiente abbondanza dell'elemento combustibile e una temperatura abbastanza alta per vincere la repulsione di nuclei.

Ogni elemento chimico richiede una temperatura diversa per la fusione: tanto più pesante è l'elemento, tanto maggiore è la temperatura richiesta.

La più semplice reazione nucleare che avviene all'interno di una stella è la fusione dell'idrogeno: quattro nuclei di idrogeno vengono fusi in un nucleo di elio (quello che succede nel sole in questo "periodo") e la lieve differenza di massa viene convertita in energia. Questa reazione può avvenire solo a temperature elevatissime, e sostiene la stella per la maggior parte della sua vita.

La stella mantiene il suo equilibrio di pressione attraverso un meccanismo termostatico: quando la produzione di energia nel centro diminuisce, essa si contrae, la temperatura interna cresce e le reazioni di fusione, che dipendono dalla temperatura del gas, accelerano. Durante questa fase la stella diventa più calda e quindi emette radiazione di lunghezza d'onda inferiore rispetto a prima (blu).

Viceversa, quando l'energia prodotta è eccessiva, la stella si espande per aumentare la superficie dalla quale può dissiparla. L'espansione fa sì che al centro della stella la pressione e la temperatura decrescano, e quindi le reazioni di fusione rallentino. Durante questa fase, la stella diventa più luminosa perché aumenta la superficie emittente, ma gli strati esterni sono più freddi e quindi emettono radiazione a maggior lunghezza d'onda (rosso).

Quando l'idrogeno, che è il costituente principale della stella, comincia ad esaurirsi nel suo centro, la produzione di energia per fusione nucleare cala; la stella è costretta ad aumentare la sua temperatura interna, contraendosi, per innescare la fusione di un combustibile più pesante e potersi sostenere.

Dopo l'idrogeno, la stella innesca la fusione dell'elio. Tre nuclei di elio si uniscono per formare un nucleo di carbonio, rilasciando energia. Dopo l'elio, il carbonio si fonde per formare elementi più pesanti e così via. Si formano quindi l'ossigeno, il magnesio, il neon, il silicio, lo zolfo, l'argon, fino al ferro.

Le stelle sono dunque delle importantissime sorgenti di evoluzione chimica: a partire dall'idrogeno, che è l'elemento più abbondante nell'universo, nelle stelle vengono sintetizzati gli elementi più pesanti. Durante la sua evoluzione, una stella restituisce parte di questo materiale allo spazio interstellare, o attraverso processi lenti e continui come il vento stellare, o nel corso di fenomeni esplosivi (nebulose planetarie,

supernovae); da questo gas si formeranno poi delle nubi, delle nuove stelle ed eventualmente dei pianeti (ecco perché sulla Terra vi sono tracce di elementi diversi dal solo idrogeno, probabilmente il Sole si è formato in una nebulosa che, a sua volta, è stata creata, in precedenza, dall'esplosione di una stella che aveva terminato il processo di fusione e liberato questi elementi durante la sua esplosione). Le stelle che si formano da questo gas hanno una composizione chimica diversa da quelle che si formano da gas non arricchito. Sulla base di questa differenza, gli astronomi classificano le stelle in due gruppi: le stelle "di prima generazione" prendono il nome di stelle di popolazione II, mentre quelle che si sono formate successivamente da gas arricchito in elementi pesanti, sono le stelle di popolazione I.

### 1.3 L'energia delle stelle

Durante una reazione di fusione termonucleare, quindi, i nuclei atomici si fondono in un nucleo più complesso, e la differenza tra la massa finale e la somma delle masse di partenza viene convertita in neutrini e in radiazione. I neutrini sono particelle subatomiche prive di carica elettrica, che non interagiscono con la materia e perciò sfuggono facilmente dalla stella, disperdendosi nello spazio, essi vengono prodotti in grandissime quantità. La radiazione si muove verso l'esterno in "blocchi" di energia detti fotoni, i quali vengono assorbiti e riemessi in continuazione dagli atomi di gas. Prima di giungere alla superficie della stella ed essere liberati nello spazio, i fotoni devono compiere un percorso a "zig-zag" tra un atomo e l'altro, che dura alcuni milioni di anni.

Ad un certo punto, muovendosi verso la superficie, il cammino dei fotoni diventa così lento che l'energia deve trovare un altro mezzo per fluire all'esterno: si sviluppano così dei moti convettivi nel gas, cioè delle "bolle" di gas caldo che si muovono verso l'esterno raffreddandosi e facendo da veicolo per l'energia. Se questa restasse intrappolata all'interno della stella, l'equilibrio verrebbe meno.

Una volta arrivata alla superficie, la radiazione viene emessa in tutte le direzioni dello spazio. Poiché fino a quel momento essa è stata in equilibrio con il gas della stella, le sue caratteristiche dipendono da quelle del gas, ovvero, la radiazione emessa ha una frequenza tanto maggiore quanto più alta è la temperatura del gas negli strati superficiali della stella. In realtà, la stella emette luce di tutte le lunghezze d'onda, ma con intensità diversa; la lunghezza d'onda che possiede la massima intensità caratterizza il "colore" della stella, ed è tanto più piccola quanto più caldo è l'astro.

Questo fatto è espresso dalla legge di Wien, la quale stabilisce che il rapporto tra la temperatura superficiale di una stella e la frequenza alla quale l'intensità della radiazione è massima, è costante.

### 1.4 Le proprietà delle stelle

Le proprietà caratteristiche di una stella sono la massa, le dimensioni, temperatura superficiale (che determina il "colore" della stella) e la luminosità, che viene descritta da una grandezza chiamata magnitudine; la scala delle magnitudini risale all'astronomo greco Ipparco, ma, poiché successivamente agli studi dell'astronomo furono trovate stelle più luminose di quelle con magnitudine 1, si passò ad adottare una magnitudine negativa. La scala delle magnitudini è, inoltre, una scala logaritmica.

La magnitudine che oggi è utilizzata universalmente, è la magnitudine assoluta, e corrisponde alla luminosità che avrebbe una sorgente, se fosse posta alla distanza convenzionale di 32.6 anni luce.

La magnitudine, inoltre, dipende dallo strumento con il quale viene misurata: un astro emette a tutte le lunghezze d'onda, anche se più intensamente in certe bande spettrali e meno in altre. I rivelatori, invece, sono sensibili solo in un determinato intervallo: certi sono sensibili alla luce rossa, altri nel blu, altri nell'infrarosso.

La massa di una stella può, quindi, variare da circa un decimo a circa 100 volte la massa del Sole; le dimensioni variano invece in un intervallo più ampio: il diametro di una stella è sempre piuttosto difficile da determinare, e può essere misurato solo per stelle vicine, esso può variare da pochi Km per una nana bianca (che è più calda, ma meno luminosa) a cento milioni di Km per una supergigante rossa (che è meno calda, ma più luminosa).

Il colore, la luminosità e la temperatura delle stelle vengono studiate dalla spettroscopia e dalla fotometria astronomica. L'analisi di un gran numero di stelle ha permesso di individuare delle caratteristiche comuni e di suddividerle in classi, dette tipi spettrali e in classi di luminosità.

Alcune stelle mostrano delle variazioni di luminosità nel tempo: alcune hanno variazioni regolari, periodiche e di entità relativamente piccola, e vengono chiamate stelle variabili, altre hanno variazioni enormi ed improvvisi di brillantezza, dovute a fenomeni di tipo esplosivo che modificano la loro struttura: le novae e le supernovae.

## 1.5 I moti stellari

Anticamente si pensava che le stelle fossero fisse sulla volta celeste, mentre in realtà esse si spostano relativamente a noi, in conseguenza sia del loro moto di rotazione attorno al centro della nostra galassia, sia del moto stesso del Sole (e quindi del Sistema Solare). Il moto delle stelle, pur essendo relativamente rapido, ci appare lentissimo a causa delle enormi distanze che le separano da noi. La stella più vicina a noi, oltre al Sole, chiamata Proxima Centauri, dista infatti 4.2 anni luce (pari a circa 38000 miliardi di chilometri). I movimenti delle stelle sulla volta celeste, detti "moti propri" sono dunque quasi impercettibili se osservati su tempi scala molto più brevi della vita di una stella, come quello della vita umana. Esse percorrono nel cielo distanze angolari raramente superiori ai 5 secondi d'arco all'anno.

Entro una sfera centrata sul Sole e con raggio di 300 anni luce, si stima che ci siano 500mila stelle

## *L'evoluzione delle stelle*

Dopo che si è formata, la stella diventa stabile quando incomincia a produrre energia attraverso la fusione nucleare. Si stabilisce un equilibrio idrostatico al suo interno (cioè la pressione degli strati esterni uguaglia quella della radiazione prodotta all'interno) e un bilancio energetico (l'energia prodotta uguaglia quella irradiata). Affinché la stella raggiunga una temperatura centrale di 10 milioni di gradi, quella necessaria per la fusione dell'idrogeno in elio, sono necessarie alcune decine di milioni di anni.



Le reazioni termonucleari che avvengono all'interno delle stelle consistono nella fusione di due o più nuclei atomici in un nucleo più pesante. La massa del nucleo risultante è leggermente inferiore alla somma delle masse dei nuclei di partenza. La differenza di massa  $M$  è quella che viene trasformata in energia ( $E$ ), secondo la nota legge di Einstein

$$E = M c^2 \rightarrow \Delta M = E / c^2$$

dove  $c$  è la velocità della luce. La fusione di due nuclei atomici, che essendo costituiti da protoni e neutroni possiedono una carica elettrica positiva, è ostacolata dalla reciproca repulsione elettrostatica. Pertanto, è necessario che il gas abbia altissime pressioni e temperature, cioè una grande energia cinetica, per poter vincere la repulsione dei nuclei e riuscire a fonderli. Più grandi sono i nuclei atomici e maggiore è la repulsione elettrica, quindi la temperatura necessaria alla fusione.

Tutte le stelle iniziano la propria vita bruciando idrogeno nel nucleo e trasformandolo in elio, ma la loro evoluzione successiva dipende dalla loro massa iniziale, quella che possiedono al momento della nascita.

La prima differenza riguarda la durata della loro vita. La vita media di una stella si calcola facendo il rapporto tra la sua massa ( $M$ ) e la sua luminosità ( $L$ ). La luminosità di una stella, inoltre, dipende dalla sua massa: più precisamente, è proporzionale al quadrato della massa per le stelle della bassa sequenza principale, alla terza o quarta potenza della massa per le più massicce ( $t = M / \text{Luminosità}$ ). La massa di una stella determina anche la quantità di combustibile a disposizione per le reazioni di fusione nucleare, perciò il tempo di vita di una stella, cioè il tempo necessario affinché essa consumi tutto il combustibile a sua disposizione, è, quindi, circa pari al rapporto tra la sua massa e la sua luminosità. Siccome la luminosità aumenta più rapidamente della massa, questo rapporto è tanto più piccolo quanto più massiccia è la stella. Le stelle più calde, massicce e luminose, sono dunque quelle che vivono meno a lungo. Le più grandi bruciano idrogeno nel nucleo solo per pochi milioni di anni, mentre le stelle più piccole possono farlo anche per 100 miliardi di anni (il nostro Sole, che è una stella abbastanza piccola, ha un tempo di vita di circa 10 miliardi di anni, cinque dei quali sono già trascorsi).

Inoltre, più grande è la massa della stella, maggiore è la temperatura centrale che questa è in grado di raggiungere contraendosi. La fusione dei nuclei atomici richiede una temperatura tanto maggiore quanto più essi sono pesanti, quindi solo nelle stelle più massicce possono essere sintetizzati gli elementi pesanti. Infine, maggiore è la temperatura e più rapido è il processo di fusione.

Via via che una stella esaurisce un combustibile e incomincia la fusione di un elemento più pesante, il processo accelera sempre di più.

Un altro fattore che interviene nell'evoluzione delle stelle è lo stato fisico del gas al suo interno; in condizioni di densità relativamente basse, il gas di ioni ed elettroni si trova in uno stato fisico normale. Se la densità aumenta oltre un certo limite, invece, il gas diventa degenere. Nel primo caso, il gas possiede un meccanismo di regolazione termostatica, nel senso che la sua pressione è proporzionale alla sua temperatura. Il gas reagisce ad un aumento di temperatura aumentando la pressione; questo produce un'espansione e un raffreddamento. In questo modo pressione e temperatura sono sempre autoregolate, e l'aumento di temperatura non provoca l'accumulo di energia all'interno del gas.

In un gas degenere, invece, la pressione non dipende più dalla temperatura. Se la temperatura del gas aumenta, esso non si espande e l'energia accumulata non può venire

dissipata. Oltre un certo limite, questo accumulo di energia rende instabile la stella e ne provoca l'esplosione.

Durante la fusione dell'idrogeno in elio, la stella possiede una temperatura, una luminosità ed un colore ben definito (tutte le stelle che si trovano nella fase di fusione dell'idrogeno, che è la fase di maggior durata dell'intera vita stellare, hanno nel diagramma H-R una posizione compresa entro la fascia della sequenza principale).

La stella rimane stabile per tutta la durata di questa fase, che può variare, secondo la sua massa, da pochi milioni a svariati miliardi di anni. Quando l'idrogeno sta per essere esaurito nel nucleo, l'equilibrio idrostatico che si era stabilito viene a mancare, perché l'energia prodotta dalla fusione non è sufficiente a controbilanciare la pressione degli strati esterni della stella. Di conseguenza, il nucleo incomincia a contrarsi e a riscaldarsi, in modo da accelerare la fusione dell'idrogeno restante e dare il via alla fusione di elio in carbonio. Questo produce un sovrariscaldamento della stella, che deve contemporaneamente espandere gli strati più esterni per dissipare l'energia in eccesso. La temperatura superficiale della stella diminuisce, e di conseguenza il suo colore si fa via via più rosso, mentre la luminosità complessiva aumenta, dato che la superficie emittente è aumentata con l'espansione, la stella diventa, cioè, una gigante rossa, una stella più fredda e più luminosa rispetto alle altre. Contemporaneamente, la stella comincia a perdere massa, attraverso l'espulsione di parte dei suoi strati più esterni. La massa perduta alla fine di questa fase può essere anche una frazione significativa della massa iniziale della stella. Quando la temperatura centrale della stella ha raggiunto i 100 milioni di gradi, i nuclei di elio incominciano a fondersi a tre per volta per formare un nucleo di carbonio (la stella si sposta dalla regione delle giganti rosse verso la sequenza principale nel diagramma H-R).

Se la stella ha una massa inferiore a circa due volte la massa del Sole, la sua evoluzione attiva termina qui. Le stelle più piccole, infatti, sono più compatte di quelle grandi e, nel loro nucleo, il gas è così denso da raggiungere lo stato degenere: in queste condizioni, non è possibile un'ulteriore contrazione del nucleo, e la stella non può innescare la fusione del carbonio prodotto. Quando l'elio sta per esaurirsi, il nucleo si contrae e gli strati esterni si espandono, per la minore produzione di energia all'interno. A questo punto, la stella diventa instabile e gli strati più esterni incominciano a “pulsare”, fino a quando non vengono espulsi in direzione radiale, lasciando scoperto il nucleo caldo e denso della stella: una nana bianca. L'insieme della stella centrale e della nube di gas espulso prende il nome di nebulosa planetaria.

Le stelle più massicce ripetono più volte il ciclo di contrazione ed espansione, “esplosando” dapprima in supergiganti rosse e innescando ogni volta la fusione di un elemento più pesante all'esaurirsi del combustibile precedente, mentre il loro nucleo si riscalda sempre più. A 800 milioni di gradi incomincia la fusione dei nuclei di carbonio, che da' origine ad elementi come l'ossigeno, il magnesio, il neon. A temperature di 1,4 miliardi di gradi i nuclei di ossigeno si fondono, formando silicio, zolfo, fosforo, e così via. La catena dei bruciamenti nucleari si interrompe quando il gas nel nucleo della stella, che ad ogni contrazione è rimasto sempre più denso e compatto, diventa degenere. A questo punto, la fusione del successivo combustibile nucleare rilascia nel gas degenere una grande quantità di energia, che provoca l'esplosione della stella come supernova. Il gas arricchito di elementi pesanti viene restituito al mezzo interstellare: l'esplosione delle supernovae rappresenta il principale meccanismo di arricchimento chimico delle galassie. Gli strati esterni della stella vengono espulsi nello spazio, mentre il suo nucleo collassa a causa della forza gravitazionale diretta verso il centro, formando un “oggetto” denso e compatto, in quanto i nuclei di ferro, sotto l'enorme pressione alla quale sono sottoposti dagli strati di gas

sovrastanti, collassano su se stessi. Il nucleo si contrae, ricercando un nuovo equilibrio, gli strati esterni cadono sul nucleo a grande velocità, urtando contro la sua superficie e l'onda d'urto che si forma riscalda il gas fino a temperature altissime; in queste condizioni si innescano immediatamente bruciamenti nucleari molto rapidi, che depositano una grande quantità di energia negli strati di gas, facendo esplodere la stella come supernova.

Solo le stelle con massa superiore a 12-13 volte quella del Sole percorrono tutto il ciclo dei bruciamenti nucleari, arrivando a sintetizzare il ferro, dopodiché la catena si interrompe: la fusione del ferro in elementi più pesanti è infatti endoenergetica, cioè, invece di liberare energia, ne assorbe.

La sorte del nucleo, a questo punto, dipende dalla sua massa: se è inferiore ad un certo limite critico (qualche volta la massa del Sole), i nuclei si fondono con gli elettroni, formando un "mare" compatto e densissimo di neutroni. Ciò che rimane della stella si assesta in una configurazione di equilibrio, una stella di neutroni.

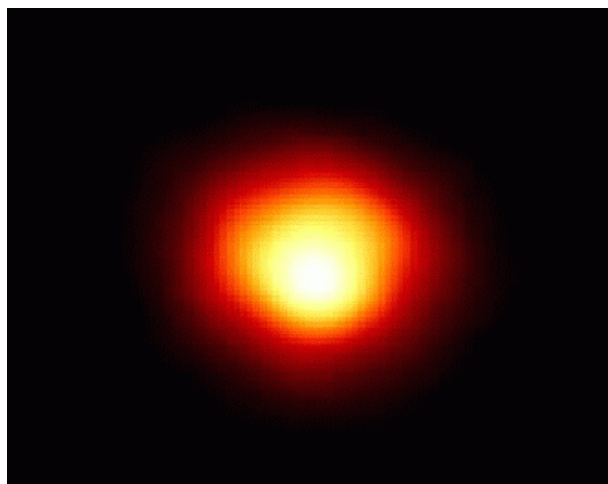
Se invece la massa del nucleo è superiore a quel limite, nulla può fermare il suo collasso, che diventa irreversibile; mentre il nucleo si contrae, a massa costante, la forza di gravità in superficie aumenta. In accordo con la teoria della Relatività Generale, lo spazio intorno alla stella si deforma, incurvandosi e modificando le traiettorie dei corpi che vi passano vicino. La stella scompare, perché perfino la luce resta intrappolata all'interno del suo enorme campo gravitazionale: si è formato un buco nero.

## 1.6 Le giganti rosse

Le giganti e le supergiganti rosse sono tra gli astri più luminosi del cielo. Pur avendo masse abbastanza modeste, le più grandi giganti rosse hanno raggi centinaia di volte maggiori di quello del Sole. Le loro atmosfere si estendono per milioni di chilometri (si può pensare che, ad esempio, quando il Sole diventerà una gigante rossa, i suoi strati esterni si espanderanno fino oltre l'orbita di Marte, "inghiottendo" i pianeti più interni, tra cui la Terra).

Le temperature superficiali delle giganti rosse si aggirano sui 3.000 gradi; tra le giganti rosse più note, si ricordano, per esempio, Antares nella costellazione dello Scorpione, e Betelgeuse (in foto) in quella di Orione.

Questi astri perdono continuamente gas, che viene "soffiato" via sotto forma di vento stellare (questa perdita di materia è decisiva per la stella in quanto, come abbiamo visto, la massa determina il tipo di evoluzione a cui essa va incontro).



Betelgeuse

## 1.7 Le nebulose planetarie

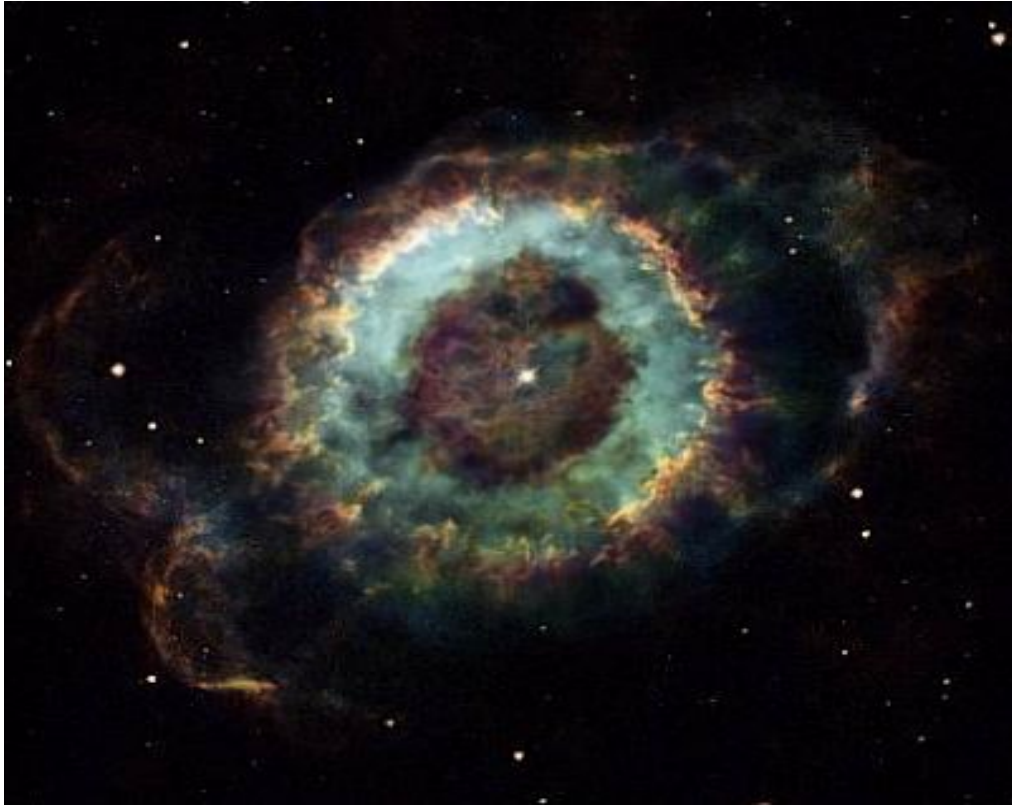
Le nebulose sono costituite da una stella centrale caldissima (molto spesso una nana bianca), compatta e di piccole dimensioni, al centro di un disco o un anello gassoso luminoso. Il sistema ha dimensioni relativamente piccole, generalmente inferiori ad un anno luce. Le prime nebulose planetarie osservate furono perciò paragonate al pianeta Saturno e ai suoi anelli, e a questo devono il loro nome. La stella che si trova al centro di una nebulosa planetaria è il residuo di una stella di piccola massa, nelle ultime fasi della sua evoluzione. Essa possiede temperature altissime, tra i 30mila e i 150mila gradi, ed emette prevalentemente nella regione ultravioletta dello spettro; è anche piuttosto piccola e compatta.

Si pensa che le nebulose planetarie abbiano origine dalle stelle supergiganti rosse, le quali espellono gli strati più esterni, composti di idrogeno ed elio.

Questo gas forma così un “guscio” sferico che si espande sempre più lentamente. Questo è un meccanismo attraverso il quale le stelle restituiscono al mezzo interstellare parte del gas da cui si sono formate, arricchito di elementi pesanti.



Nebulosa NGC 7293



Nebulosa NGC 6369

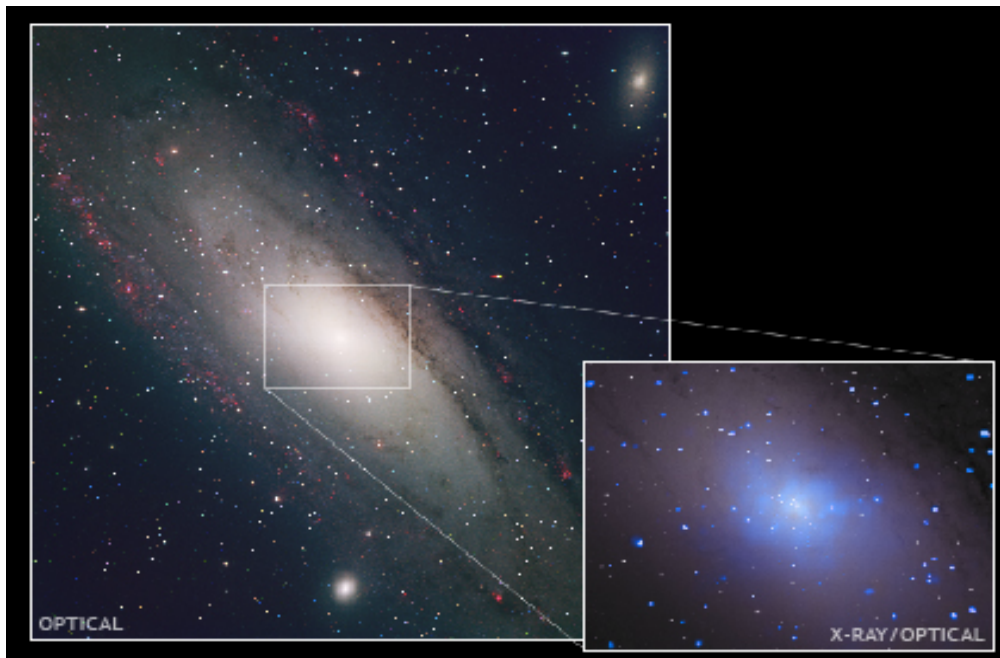
## 1.8 Le nane bianche

Lo stadio finale della vita delle stelle di piccola massa è rappresentato dalle nane bianche. L'esempio più significativo di questo tipo di stelle è Sirio B, la "compagna" della più nota stella Sirio, con la quale forma un sistema binario. Durante e dopo la fase di gigante rossa, la stella perde i suoi strati esterni e la parte restante va incontro ad un rapido collasso. Se la massa rimanente, quella del nucleo stellare, è inferiore ad un certo limite critico, pari a 1.44 volte la massa del Sole, il collasso ad un certo punto si arresta e la stella trova una configurazione di equilibrio stabile, diventando una nana bianca.

Tanto maggiore è la massa della stella, tanto minore è il raggio finale della nana bianca. Questo tipo di stella è molto piccola, densa e compatta, in rapida rotazione. Essa deve il suo nome al fatto che ha un raggio molto minore di una stella normale, ed essendo caldissima, emette luce a lunghezze d'onda più corte, cioè bianca, come le stelle dei primi tipi spettrali. Una nana bianca ha una massa confrontabile con quella del Sole e dimensioni di un pianeta come la Terra. Il gas della nana bianca è completamente degenere (perciò la stella non può collassare ulteriormente, in quanto pressione e temperatura non sono più direttamente proporzionali). La degenerazione di un gas (di elettroni, di neutroni o di ioni) si instaura quando esso viene compresso fino oltre una certa densità critica. In una nana bianca, la materia è compressa fino a densità di  $10^6$  -  $10^7$  grammi per  $\text{cm}^3$ . Pur essendo così compressa, la materia al suo interno si trova però allo stato gassoso, contrariamente a quanto avverrebbe per la materia normale, che ad alte pressioni solidifica.

Un gas degenere è estremamente resistente ad un'ulteriore compressione, perché esercita esso stesso una fortissima pressione: è questa pressione che sostiene la nana bianca. La stella non può più contrarsi ed innescare la fusione nucleare al suo interno: una nana bianca perciò è una stella "morta", destinata a splendere a spese della sua energia interna, senza poterne produrre di nuova. La temperatura iniziale di una nana bianca può

raggiungere i 100.000 gradi ed il suo raffreddamento, fino a temperature prossime allo zero, richiede svariati miliardi di anni; tenendo conto che l'età dell'universo è di 15-20 miliardi di anni, è probabile che nessuna nana bianca sia ancora giunta alla sua "morte termica".



Nana Bianca m31420kr7

Se in un sistema binario una delle due stelle è una nana bianca, può verificarsi il fenomeno della nova.

## 1.9 Le novae

Il nome di “novae” deriva dal fatto che fin dall'antichità sono state segnalate apparizioni di stelle “nuove”, cioè apparizioni di stelle mai viste in precedenza. Queste stelle restavano brillanti per qualche settimana o pochi mesi, per poi affievolirsi e scomparire di nuovo. Oggi sappiamo che questo fenomeno non è dovuto alla comparsa di nuove stelle, bensì all'esplosione di stelle già esistenti e non visibili, che le rende improvvisamente più brillanti e permette di rivellarle. L'esplosione, che è meno violenta di quella di una supernova e non distrugge completamente la stella, è dovuta ad un meccanismo legato alla sua evoluzione.

Le novae, nel loro stato normale, sono stelle compatte non molto brillanti e ad alta temperatura (tipicamente nane bianche), che fanno parte di sistemi binari; la compagna è una stella evoluta ed espansa, come una gigante rossa, dalla quale fluisce in continuazione materia gassosa. Il gas perso si raccoglie in un disco di accrescimento attorno alla stella compatta, cadendovi sopra lentamente. La caduta di materia sulla nana bianca continua finché questa non raggiunge una massa limite; a questo punto produce nella stella una reazione di tipo esplosivo, che la libera di parte della materia che aveva guadagnato.

La luminosità della stella cresce anche di 11-12 magnitudini; nell'esplosione gli strati esterni della stella vengono espulsi con velocità elevatissime. Allontanandosi dalla stella, il gas espulso diventa meno denso, rallenta e si raffredda, formando una piccola nebulosa.

La massa espulsa, è, però, solo una piccola frazione della massa totale della stella. Dopo

qualche anno la stella che ha subito l'esplosione ritorna circa quella di prima. Il fenomeno delle novae può ripetersi, quando si ripresentino le condizioni appropriate. Non tutte le novae si comportano però allo stesso modo; alcune salgono improvvisamente al massimo di luminosità, raggiunto il quale si affievoliscono nel giro di pochi mesi; in altri casi la stella impiega più tempo a raggiungere il culmine dello splendore, subisce esplosioni multiple che si susseguono nel tempo ed impiega anni per tornare al minimo di luminosità.

Se la stella, concluso il primo ciclo di fusione dell'idrogeno, ha una massa tale da non permetterle di trovare un "equilibrio" come nana bianca, allora ripete il ciclo di espansione e contrazione più volte, "esploendo" dapprima come supergigante rossa, poi come supernova.

## 1.10 Le supernovae

Uno dei fenomeni più spettacolari che si possano osservare in cielo, si ha quando una stella esplose come supernova. L'esplosione avviene quando il nucleo di una stella abbastanza massiccia collassa, al termine della sequenza dei bruciamenti nucleari. Gli strati esterni cadono sul nucleo riscaldandosi, e di colpo si innescano delle reazioni di fusione termonucleare. Esse producono una grandissima quantità di energia, che si deposita nel gas sotto forma di energia cinetica: gli strati vengono espulsi a grandissime velocità. L'energia sviluppata da una supernova è tale che per qualche settimana essa emette, da sola, la quantità di luce emessa da un'intera galassia. La luce emessa dalla supernova si affievolisce e scompare nel giro di qualche anno, lasciando una nube di gas in espansione rallentata.

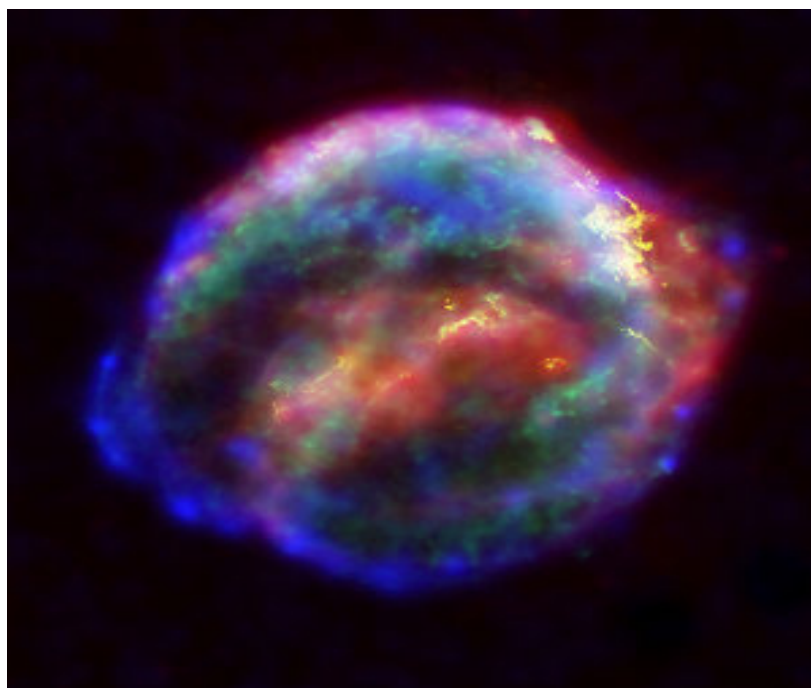
Al centro della supernova resta un buco nero oppure una stella di neutroni. L'esplosione libera nello spazio interstellare gas ad altissima temperatura, fortemente ionizzato; gli elettroni liberi e gli ioni portano con se un intenso campo magnetico. Se attorno alla supernova c'è del gas interstellare, il materiale espulso lo comprime e viene rallentato a sua volta; il gas interstellare viene riscaldato ed emette radiazione. Il gas in espansione assume via via una struttura a filamenti, il resto della supernova emette radiazioni di vario tipo: ottiche, radio, infrarosse, ma anche X e gamma. L'emissione di raggi X viene prodotta nell'interazione degli ioni e degli elettroni col gas interstellare. Dato che le stelle di grande massa sono solo una piccola frazione del totale, l'esplosione di una supernova è un evento piuttosto raro (si stima che nella nostra Galassia esplodano in media tre supernovae al secolo, le ultime due supernovae esplose nella nostra Galassia sono quella del 1572, nella costellazione di Cassiopea, e quella del 1604 in Ofiuco).

Alcune supernovae sono entrate nella storia dell'astronomia. Molto nota è quella esplosa nel 1054, che fu così luminosa da essere visibile per un po' di tempo anche durante il giorno. Il residuo di quella supernova costituisce oggi la Nebulosa del Granchio, detta così per la sua struttura tentacolare.

Un altro resto di supernova è quello noto come Cygnus Loop (anello del Cigno, nell'omonima costellazione), residuo di una stella esplosa circa 50.000 anni fa. Il ruolo delle supernovae nell'evoluzione delle galassie è fondamentale, non soltanto perché esse arricchiscono il gas interstellare di elementi pesanti, ma anche perché, attraverso una compressione dello stesso gas, inducono la formazione di nubi dense e quindi di nuove stelle.



Supernova 1994D



Supernova Keplers



## 1.11 Le stelle di neutroni

Se, durante le fasi finali dell'evoluzione di una stella, essa ha una massa compresa tra 1.44 e circa 3 masse solari, allora si giunge alla formazione di questi astri. Dopo aver esaurito la catena dei bruciamenti nucleari, la stella si contrae, sotto la propria spinta gravitazionale, mentre gli strati esterni si espandono. La stella subisce un collasso così violento da non riuscire a riassumere una configurazione di equilibrio di nana bianca, come le stelle più piccole. Essa raggiungerà l'equilibrio in uno stato ancora più estremo, diventando una stella di neutroni. Il collasso prosegue infatti finché gli stessi nuclei atomici si frantumano e i protoni si fondono con gli elettroni, formando un "mare" di neutroni degeneri ad altissima densità. La pressione dei neutroni degeneri sostiene la stella, impedendone un'ulteriore collasso.

Si sa ancora poco sulla struttura interna e sullo stato fisico di una stella di questo tipo, tranne che possiede un campo gravitazionale ed un campo magnetico estremamente intensi.

Le stelle di neutroni non emettono luce come le stelle, perciò non sono realmente "visibili". Tuttavia ne sono state individuate alcune sulla base di evidenze indirette: esse danno luogo infatti al fenomeno delle pulsar: poiché una stella o una nube di gas si mettono in rotazione attorno al proprio asse durante una contrazione, ruotando vorticosamente su se stessa, la stella di protoni emette fasci di radiazione elettromagnetica; la stella prende, allora, il nome di pulsar, in quanto, a causa della rapida rotazione, le onde elettromagnetiche raggiungono la Terra a impulsi la cui frequenza va da qualche secondo a pochi millesimi di secondo. Queste radiazioni vengono emesse a spese dell'energia della stella, la quale rallenta progressivamente la propria rotazione: il periodo passa da una frazione di secondo fino a qualche ora o giorno.



Stella di neutroni heic0706



Stella di neutroni



Pulsar

## 1.12 I buchi neri

Se, al termine della sequenza dei bruciamenti nucleari, la massa del nucleo della stella è superiore a circa 3 volte la massa del Sole, il collasso che esso subisce non può essere fermato neanche dalla pressione delle particelle che lo compongono: esso prosegue inarrestabile, dando origine ad un buco nero, che “inghiotte” tutta la materia che si trova entro una certa distanza e dal quale niente può scappare. La forza di gravità, in questo caso, è così grande da comprimere le particelle fino ad una densità praticamente “infinita”: la materia viene ridotta in uno stato fisico sconosciuto, ma sicuramente diverso da quello della materia che conosciamo.

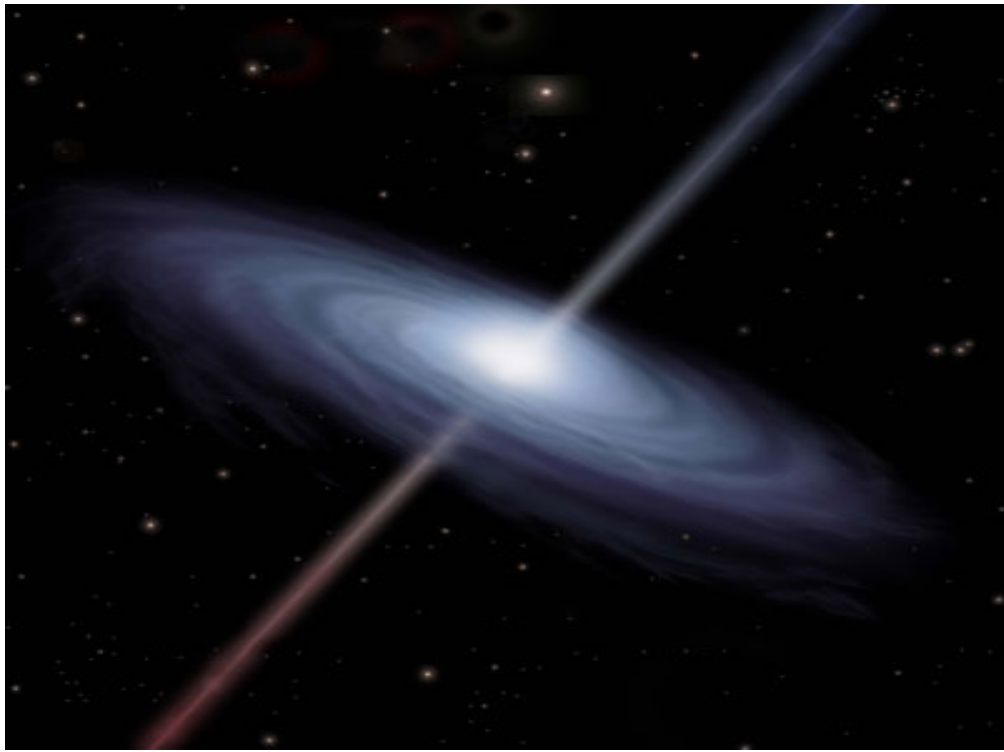
Nel collasso, la stella si “ripiega” su se stessa ed incurva lo spazio-tempo circostante a causa della sua enorme gravità. La gravità superficiale di un buco nero è così alta che nemmeno la luce può sfuggirle, perciò esso è completamente oscuro e non si può rivelarne uno in modo diretto.

Come per ogni stella o pianeta, anche per un buco nero si può definire la velocità di fuga ad una certa distanza  $D$ , cioè la minima velocità che un corpo dovrebbe avere per poter sfuggire all'attrazione gravitazionale che il buco nero esercita alla distanza  $D$ . Facendo un ragionamento inverso, se per una data velocità si può trovare la distanza minima alla quale l'oggetto può avvicinarsi al buco nero senza venirse catturato, allora se si pone questa velocità pari a quella della luce (la massima velocità esistente) si trova la distanza oltre la quale nemmeno la luce può sfuggire al buco nero. Questo limite prende il nome di “orizzonte degli eventi” e delimita la regione interna, dalla quale nessun segnale può raggiungere l'esterno: di tutto ciò che avviene all'interno non si possono avere notizie. Non è possibile definire per un buco nero una vera e propria superficie, ne' un volume o una densità: le proprietà che caratterizzano questo oggetto sono la sua massa ed il cosiddetto raggio di Schwarzschild (dal nome del fisico che studiò per primo i buchi neri dal punto di vista teorico), cioè la distanza dal centro all' “orizzonte degli eventi”.

I buchi neri possono essere rivelati soltanto dagli effetti gravitazionali che esercitano sulla materia circostante; per esempio, se una delle componenti di un sistema binario è un buco nero e l'altra una stella normale, la presenza del primo sarà rivelata dal moto orbitale della seconda attorno al centro di massa comune. Spesso, quando anch'essa evolve in gigante rossa e si espande, parte del gas dei suoi strati più esterni può formare un disco di accrescimento attorno al buco nero; dal disco, il gas cade lentamente sul buco nero. Il campo gravitazionale del buco nero è, quindi, così elevato che una delle conseguenze principali è che un raggio di luce che passa nelle vicinanze del buco nero, si incurva e cambia direzione.



Black Hole



Black Hole

## *Le Stelle variabili*

Molte delle stelle che vediamo in cielo hanno una luminosità variabile nel tempo, spesso in modo periodico. Le stelle variabili sono di diversi tipi, bisogna anzitutto distinguere tra variabili fisiche e geometriche; le prime sono stelle che hanno variazioni di luminosità a causa della loro stessa natura, mentre nelle altre la variabilità è dovuta a cause esterne (ad esempio, nei sistemi doppi di stelle, periodicamente una delle due componenti eclissa l'altra e la magnitudine apparente del sistema cambia).

Una stella variabile è caratterizzata dalla una particolare curva di luce, un diagramma nel quale è riportata la magnitudine apparente della stella in funzione del tempo. Da essa si risale all'eventuale periodo della variazione e alla sua ampiezza, cioè alle proprietà distintive della stella.

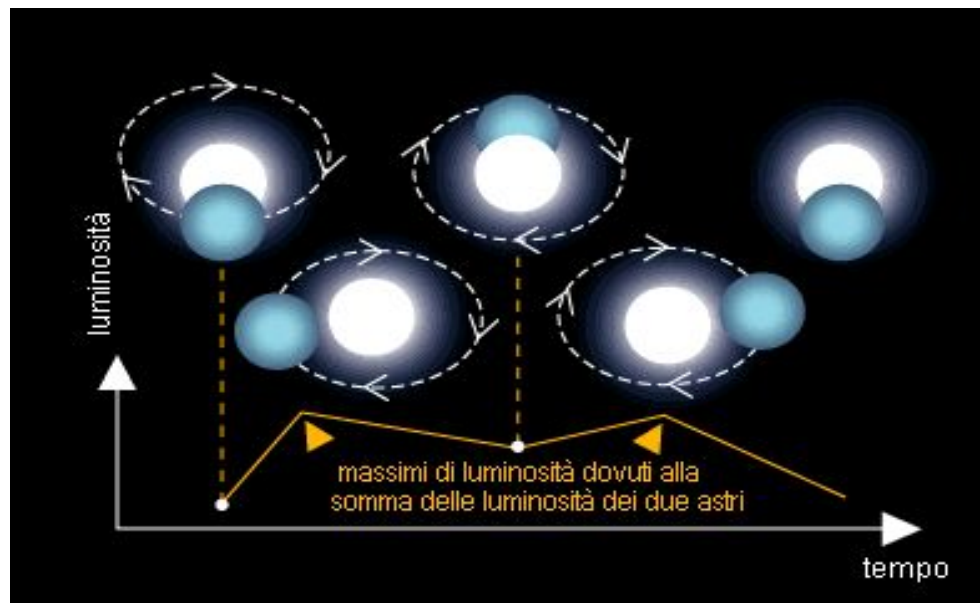
In alcuni casi le variazioni di splendore della stella sono irregolari o semiregolari. In altri casi queste variazioni avvengono in modo regolare e periodico; durante un periodo cambiano la magnitudine, la temperatura, la densità, il raggio e la velocità radiale del gas stellare, in vere e proprie oscillazioni o pulsazioni. Per questo motivo tali stelle vengono anche dette variabili pulsanti.

### **1.13 Variabili geometriche e variabili fisiche**

Il fenomeno delle stelle variabili geometriche si ha quando la stella meno luminosa, in un sistema doppio, eclissa quella più luminosa.

Le stelle variabili fisiche, invece, sono stelle che variano la loro luminosità a causa della loro stessa natura; la variazione di luminosità corrisponde ad espansioni e contrazioni del globo stellare, alla ricerca di equilibrio. Tra gli altri tipi di variabili, ricordiamo le variabili del tipo Mira, stelle supergiganti rosse che raggiungono oscillazioni di 10

magnitudini; le semiregolari, stelle giganti rosse come Betelgeuse o Antares; ed infine le variabili irregolari, che presentano fluttuazioni di luminosità non superiori alle 2 magnitudini



Stelle Doppie

## 1.14 Le variabili Cefeidi

Ci sono diversi tipi di variabili, classificate in tre gruppi principali, le *Cefeidi classiche*, le *W Virginis* e le *RR Lyrae*.

Questo tipo di stella variabile deriva il suo nome dalla prima stella del genere che è stata scoperta, Delta Cephei, si tratta di stelle pulsanti, il cui raggio cioè varia periodicamente intorno ad un valore medio. Queste stelle sono state studiate molto per catalogarne le proprietà e sono utili “indicatori di distanza”: hanno permesso di calcolare la distanza di galassie vicine, come M31 (Andromeda) o le Nubi di Magellano.

Il periodo è compreso tra 0.2 e 100 giorni circa; nel corso di un periodo, il colore, la temperatura e il tipo spettrale di queste stelle variano; la luminosità non varia molto.

La pulsazione avviene secondo un ciclo:

contrazione della stella ---> riscaldamento del nucleo ---> accelerazione delle reazioni nucleari e sovrapproduzione di energia ---> espansione della stella ---> dissipazione dell'energia accumulata ----> raffreddamento del nucleo ---> decelerazione delle reazioni nucleari ---> squilibrio di pressione ---> contrazione.

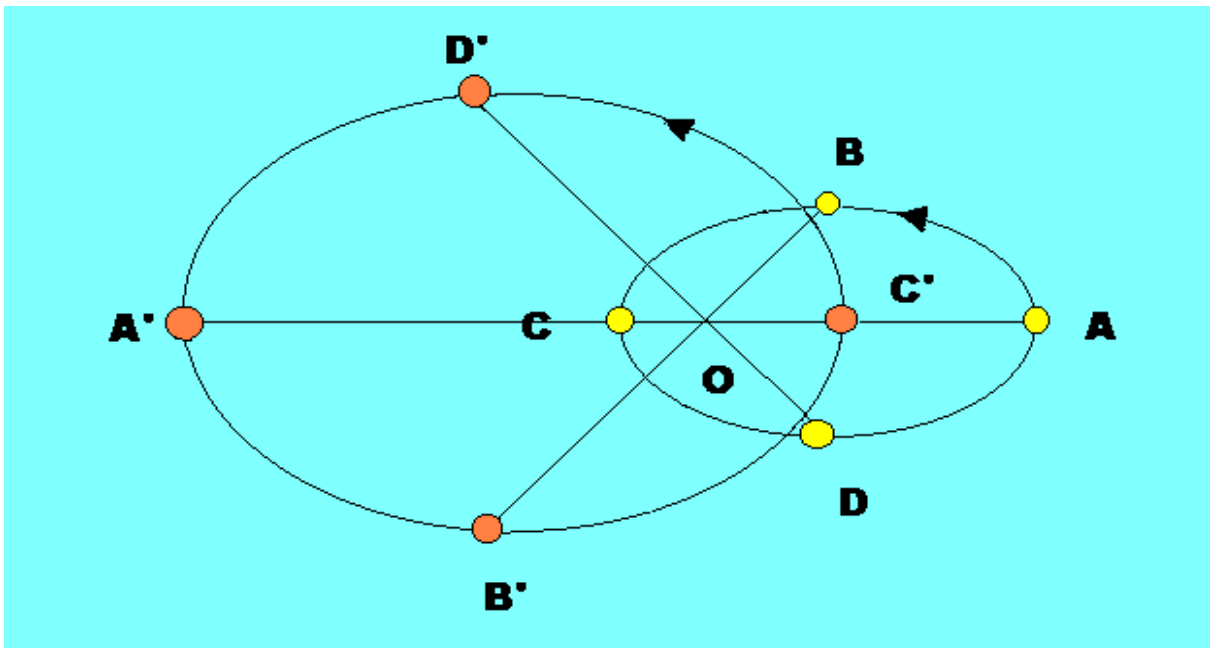
La particolarità principale delle Cefeidi, scoperte dall'astronoma H. Leavitt nel 1922, è che esiste una relazione tra il loro periodo e la loro luminosità.

Questa relazione ha permesso di ricavare la distanza delle altre stelle dello stesso tipo. In realtà esistono Cefeidi di due tipi, le cosiddette Cefeidi classiche e le W Virginis, meno luminose delle prime. Le RR Lyrae, a loro volta, sono variabili pulsanti di tipo e magnitudine diversa.

## *Le Stelle doppie*

Si potrebbe pensare che, allo stesso modo del Sole, le stelle siano astri isolati, ripartiti nella galassia, in realtà, i due terzi delle stelle sono riunite a formare sistemi multipli. La maggior parte di questi sistemi sono binari (cioè formati da due stelle sole, come Sirio), ma esistono anche sistemi tripli, quadrupli e perfino sestupli.

Queste stelle ruotano attorno ad un punto comune, che è il baricentro del sistema, compiendo ciascuna un'orbita ellittica della quale il baricentro è uno dei due fuochi.



In un sistema binario, le due stelle si muovono attorno al baricentro comune O.  
Il rapporto tra le loro distanze dal baricentro è inversamente proporzionale al rapporto tra le loro masse.

Non bisogna, però, confondere le stelle doppie fisiche con quelle ottiche, cioè quelle che appaiono associate per un semplice effetto prospettico (per esempio Mizar e Alcor).

Ci sono diversi tipi di sistemi binari; le doppie visuali sono quei sistemi in cui entrambe le componenti sono visibili al telescopio.

Le stelle doppie si muovono una attorno all'altra, e se il loro piano orbitale si trova lungo la linea di vista, periodicamente una delle due nasconde l'altra, dando luogo ad un occultamento.

In questo caso, ciò che si osserva non è una vera e propria eclisse, ma piuttosto una variazione nella luminosità globale del sistema (stelle variabili geometriche) (un esempio ne è Algol, nella costellazione di Perseo, la cui magnitudine totale passa da 2.3 a 3.5 in un periodo di 69 ore).

In altri casi, si possono rivelare dei sistemi doppi mediante lo spostamento Doppler delle loro righe spettrali: nel loro moto attorno al baricentro, le due stelle si avvicinano, e si allontanano dall'osservatore, quindi il loro spettro subisce uno spostamento rispettivamente verso il blu o verso il rosso (un esempio di questo tipo di sistema di binarie è Mizar nell'Orsa Maggiore).

Le stelle doppie rivestono una particolare importanza, perché a volte permettono di misurare le masse delle stelle componenti, analizzando i parametri dell'orbita relativa e utilizzando le leggi di Keplero.

## *Le Nebulose*

Le nebulose sono regioni di gas rarefatto e polveri, presenti un po' ovunque nella nostra e in altre galassie (un tempo venivano indicate così tutte le sorgenti luminose distanti e dall'aspetto diffuso, in seguito ci si accorse che molte di esse erano in realtà galassie esterne, come per esempio la nebulosa di Andromeda).

Generalmente si distingue tra nebulose oscure e luminose: queste ultime sono nubi di gas illuminate da una stella. Esse si formano in vari modi, ad esempio nell'esplosione di una supernova, oppure quando una nebulosa planetaria espelle gli strati esterni di gas: in questo caso, al centro della nebulosa resta una stella molto calda, che emette radiazione ultravioletta; la radiazione eccita il gas della nebulosa e fa sì che esso emetta luce. Esistono poi le nebulose a riflessione, le quali contengono anche grani di polvere che diffondono la luce delle stelle vicine.

Le nebulose oscure sono, infine, nubi di gas contenenti polvere e prive di stelle che le illuminano; esse non emettono luce e oscurano anche eventuali sorgenti retrostanti.

## *La Spettroscopia astronomica*

Lo sviluppo della spettroscopia, cioè dello studio dello spettro delle sorgenti luminose, è cominciato nel XIX secolo, con la messa a punto del primo spettroscopio. Lo spettroscopio è uno strumento che permette di separare le varie componenti di un fascio di luce, cioè le diverse lunghezze d'onda. Se ad esso è abbinato un dispositivo di misura dell'intensità della luce alle varie lunghezze d'onda, si dice spettrometro.

Ogni elemento chimico emette ed assorbe particolari frequenze. Studiando la luce emessa da varie sostanze chimiche e analizzando la luce proveniente dal Sole e da alcune stelle, gli astronomi furono in grado di scoprire la loro composizione chimica.

Una scoperta fondamentale fu che gli spettri stellari possono essere suddivisi in gruppi, detti tipi spettrali, in base a delle affinità, come il colore o la presenza di certe righe spettrali. In particolare, ci si accorse che il tipo e l'aspetto delle righe spettrali variava al variare del colore della stella.

Lo spettro di una stella è a righe di assorbimento. Secondo alcune ipotesi, la parte continua di questo spettro può essere approssimata con quello di un corpo nero di temperatura pari a quella della superficie della stella, anche se la stella non è un emettitore perfetto e non possiede neanche una superficie fisica ben definita. In astrofisica una stella viene caratterizzata da un "colore" e da una "temperatura superficiale" a seconda della forma del suo spettro: questo viene confrontato con lo spettro di un corpo nero, e, una volta trovato quello che più si avvicina a quello della stella, si attribuisce a questa la stessa temperatura del corpo nero. Il colore è determinato dalla regione dello spettro nella quale l'intensità della luce è massima; le stelle hanno temperature superficiali di qualche migliaio o poche decine di migliaia di gradi, ed emettono la massima potenza nella regione ottica dello spettro. Il Sole, ad esempio, emette al massimo di intensità nella regione gialla della banda ottica, perciò la sua temperatura superficiale è stata stabilita in 5780 gradi Kelvin.

Ogni elemento chimico, quindi, emette ed assorbe determinate lunghezze d'onda. Se è presente negli strati esterni di una stella, un elemento produce una riga in assorbimento, cioè assorbe quella lunghezza d'onda dalla luce che proviene dalla stella, lasciando una riga oscura nel suo spettro.

Solo le stelle giovani e massicce hanno una temperatura superficiale abbastanza alta (qualche decina di migliaia di gradi) da poter ionizzare il gas che le circonda. Questo gas, caldo e rarefatto, assorbe l'energia proveniente dalla stella e la riemette sotto forma di righe spettrali; per questo motivo, sovrapposto allo spettro stellare con le sue righe di assorbimento, queste stelle hanno anche uno spettro a righe di emissione, quello del gas.

### **2.1 I tipi spettrali :**

- *Classe O* : hanno temperature superficiali superiori ai 30mila gradi, in grado di ionizzare perfino l'elio. Presentano quindi nel loro spettro le righe dell'elio ionizzato. Sono stelle relativamente rare.
- *Classe B* : la loro temperatura superficiale è compresa tra circa 15mila e 25mila gradi. Sono più comuni di quelle di classe O, ma ancora piuttosto rare.



- *Classe A* : sono stelle di temperatura compresa tra 8 e 12 mila gradi circa, e sono molto numerose. Nel loro spettro dominano le righe dell'idrogeno. A questo tipo spettrale appartengono per esempio Sirio, Vega e Altair.
- *Classe F* : sono le stelle con temperature comprese tra 6 e 8 mila gradi, nel cui spettro dominano le righe del calcio ionizzato. La Stella Polare appartiene a questo tipo spettrale.
- *Classe G* : è la classe alla quale appartiene il Sole, quella delle stelle con temperature superficiali di 4-6mila gradi e caratterizzate dalle righe dei metalli e del calcio ionizzato nel loro spettro.
- *Classe K* : hanno temperature comprese tra 3500 e 5000 gradi e uno spettro caratterizzato dalle righe dei metalli e del calcio neutro.
- *Classe M* : hanno temperature superficiali di 2-3mila gradi e sono caratterizzate dalle righe dell'ossido di titanio. E' la classe alla quale appartengono per esempio Betelgeuse e Antares.
- *Classi R e N* : hanno anch'esse le temperature delle stelle di classe M, ma il loro spettro è dominato dal carbonio e vengono dette perciò anche "stelle al carbonio". Sono stelle piuttosto rare.
- *Classe S* : hanno le stesse temperature delle stelle di classe M, ma possiedono le righe dell'ossido di zirconio nel loro spettro. Sono molto rare.
- Ognuno di questi tipi spettrali è a sua volta suddiviso in sottoclassi, contrassegnate con numeri da 0 a 9 (per esempio il Sole è una stella di tipo spettrale G5).

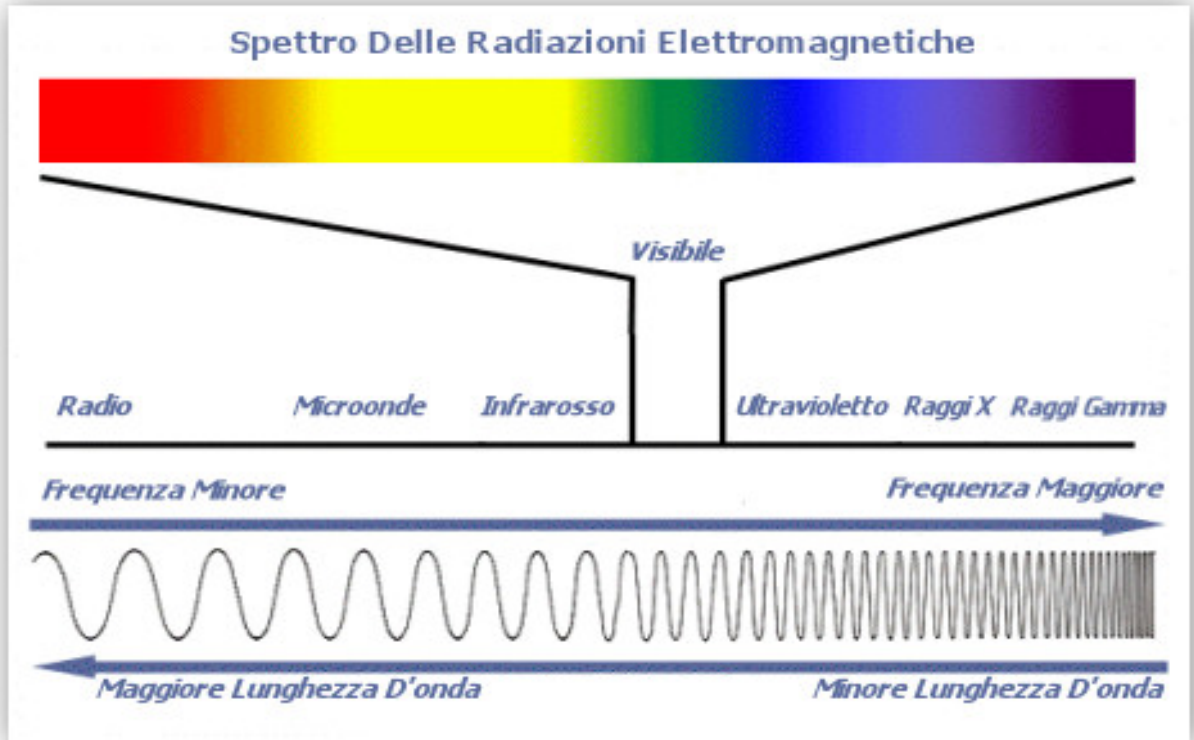
A parità di temperatura superficiale e quindi di colore, le stelle possono avere una diversa luminosità. Gli astronomi hanno quindi introdotto anche alcune classi di luminosità per catalogarle, per esempio, due stelle che abbiano la stessa temperatura superficiale ma diversa luminosità, devono avere una diversa superficie irradiante e un diverso volume, perché la luminosità di una stella è proporzionale alla sua superficie. La luminosità è, infatti, l'energia emessa in un secondo dall'intera superficie della stella; a parità di temperatura, la quantità di energia emessa per unità di tempo e di superficie è la stessa, quindi una diversa luminosità è dovuta ad una diversa estensione della superficie irradiante.

Le stelle si dividono quindi in *giganti*, *supergiganti* e *nane*. Esse differiscono non soltanto per le loro dimensioni, ma anche per la densità: le stelle giganti e supergiganti sono molto rarefatte ed "espanse", mentre le nane sono più dense, piccole e compatte.

Non c'è, comunque, necessariamente una relazione tra le dimensioni e la massa di una stella (Ad esempio Antares, che ha un diametro di 480 volte quello del Sole, ha una massa soltanto 20 volte più grande, mentre esistono nane bianche con massa pari a quella del Sole ma diametro pari a 1/200 di quello solare).

## 2.2 Lo Spettro delle radiazioni

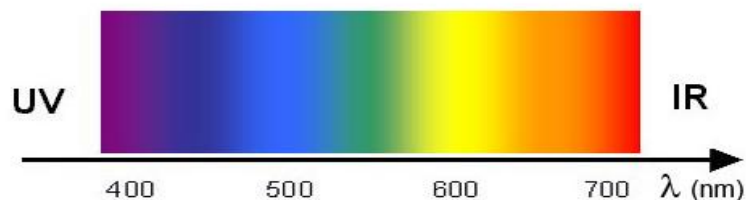
Quando un fascio di luce viene fatto passare attraverso un prisma o un altro mezzo dispersivo, viene scomposto nelle varie lunghezze d'onda che lo costituiscono, formando una striscia colorata: essa prende il nome di spettro della sorgente di luce.



Lo spettro della luce fornisce molte informazioni sulla composizione chimica della sorgente e sul suo stato fisico (temperatura, densità e grado di ionizzazione). Esistono in natura vari tipi di spettri:

- lo spettro continuo;
- lo spettro a righe di emissione;
- lo spettro a righe di assorbimento.

Uno *spettro continuo* contiene tutte le lunghezze d'onda della radiazione, almeno quelle comprese in un certo intervallo, senza interruzioni. Esso viene emesso da gas compressi, solidi e liquidi ad alte temperature. Un tipo particolare di spettro continuo è quello emesso dal corpo nero. Si definisce corpo nero un corpo ipotetico che quando è freddo assorbe la radiazione di ogni lunghezza d'onda e perciò appare completamente oscuro, e quando viene riscaldato emette radiazione di tutte le lunghezze d'onda. Si tratta quindi di un ipotetico "emettitore" e "assorbitore" perfetto.



Uno *spettro a righe di emissione* è uno spettro nel quale soltanto certe righe (o lunghezze d'onda) sono presenti. Questo tipo di spettro viene emesso da gas rarefatti e caldi, e le righe che vi appaiono sono caratteristiche degli elementi chimici che compongono il gas.

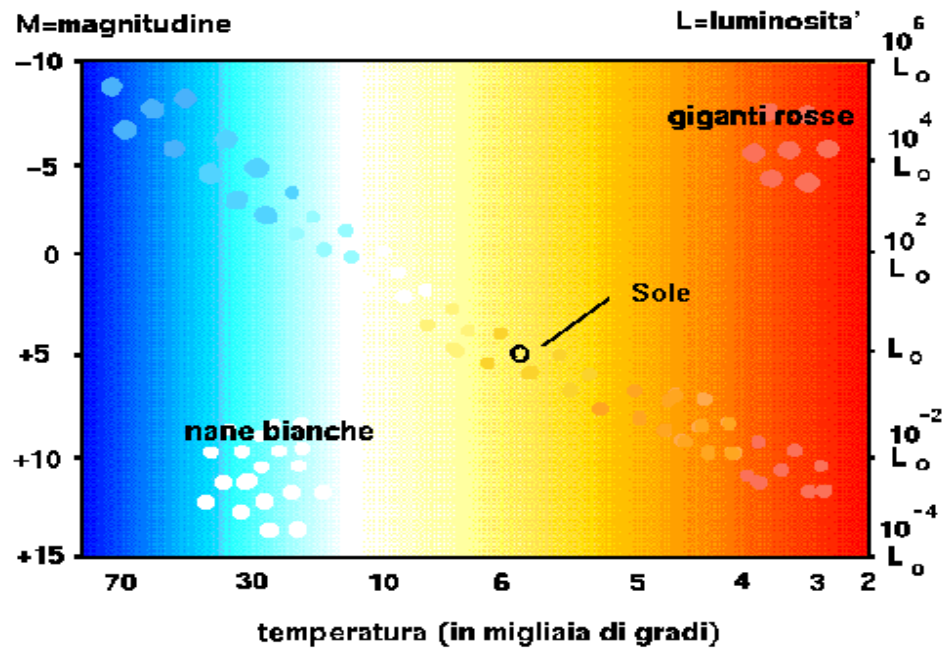


Uno *spettro a righe di assorbimento* è uno spettro continuo nel quale mancano però alcune lunghezze d'onda. Queste vengono dette righe di assorbimento. Esso viene prodotto quando la luce di una sorgente continua passa attraverso un gas più freddo, il quale ne assorbe determinate lunghezze d'onda, a seconda di quali elementi contiene.



### 2.3 Il diagramma H-R e i vari tipi di stelle

Una volta catalogate un numero sufficiente di stelle, alcuni astronomi hanno pensato di collegare i vari dati raccolti per scoprire eventuali relazioni tra le grandezze che le caratterizzano. Due astronomi, il danese Hertzpung e l'americano Russel, indipendentemente l'uno dall'altro, hanno elaborato un diagramma nel quale vengono raffigurate la luminosità assoluta delle stelle e la loro temperatura superficiale. Esso prende il nome di diagramma HR ed è di fondamentale importanza per lo studio dell'evoluzione stellare. In base alla posizione di una stella nel diagramma, infatti, si possono dedurre molte delle sue proprietà fisiche e in quale stadio della sua evoluzione si trova.



Nel diagramma HR la luminosità (crescente) o la magnitudine assoluta (decescente) della stella viene riportata sull'asse delle ordinate, mentre la temperatura lungo l'asse delle ascisse, con valori decrescenti.

Si è scoperto che le stelle non si distribuiscono in modo casuale in questo diagramma, ma la maggior parte di esse è raggruppata lungo una fascia che attraversa il piano in diagonale, dalle alte alle basse temperature e luminosità.

- Questa fascia viene detta “*sequenza principale*” ed è caratterizzata dal fatto che la luminosità e la temperatura delle stelle decresce regolarmente dall'alto verso il basso. La luminosità delle stelle della sequenza principale dipende dalla loro massa, quindi essa è anche una sequenza di masse, che decrescono dall'alto verso il basso. La sequenza è composta di stelle nane rosse e di stelle giganti blu; queste ultime si trovano nella regione in alto a sinistra del diagramma HR, le prime nella regione in basso a destra.

- Altre stelle sono concentrate in alto a destra nel diagramma, cioè nella regione delle alte luminosità e delle basse temperature; questa è la regione delle stelle *giganti e supergiganti rosse*. Gli strati esterni di queste stelle sono molto espansi e quindi, pur non avendo alte temperature, hanno una superficie irradiante grandissima e un'alta luminosità.

- Altre stelle ancora si raggruppano in basso a sinistra, ad alte temperature e basse luminosità: si tratta delle *nane bianche*, stelle molto piccole, calde e compatte. Esse emettono grandi quantità di energia per unità di superficie, essendo caldissime come le stelle bianche di sequenza principale, ma dato che hanno dimensioni ridotte, la superficie irradiante e quindi la luminosità totale è bassa.

- La regione sulla destra del diagramma, a temperature inferiori ai 2000 gradi circa, è quella delle cosiddette *stelle di pre-sequenza*, quelle cioè che non hanno ancora temperature centrali sufficienti a provocare la fusione dell'idrogeno in elio. Esse si distribuiscono all'incirca lungo una linea verticale sulla destra, e quando il loro nucleo si riscalda e incomincia la fusione nucleare, si spostano verso la sequenza principale, ciascuna nel punto che corrisponde alla propria massa.

- Infine, ci sono stelle che popolano una regione detta ramo orizzontale, cioè una striscia orizzontale corrispondente a magnitudini assolute intorno a circa 0.5. Queste

sono stelle di piccola massa, che bruciano elio nel nucleo; si tratta di una fase successiva alla sequenza principale.

Le stelle che si trovano in sequenza sono quelle che bruciano idrogeno nel loro nucleo, trasformandolo in elio. Dato che l'idrogeno è un elemento molto abbondante nelle stelle, questa fase dura molto a lungo e perciò è più probabile osservare una stella in questa regione del diagramma. Le altre fasi evolutive, corrispondenti alle regioni delle giganti rosse, o del ramo orizzontale, sono molto più rapide e quindi è meno probabile osservarvi delle stelle.

### *La Fotometria astronomica*

La fotometria astronomica è la misura della luce emessa da una sorgente celeste. Essa fa uso di un insieme di procedimenti (ottici, fotografici ed elettronici) per misurare il flusso luminoso (cioè l'energia che investe un rivelatore nell'unità di tempo). Gli astronomi dell'antichità avevano suddiviso le stelle in classi a seconda della loro brillantezza apparente, ma soltanto sulla base di osservazioni compiute ad occhio nudo, con l'avvento degli strumenti astronomici, delle pellicole fotografiche e in seguito dei rivelatori fotoelettrici e poi elettronici, è stato possibile ottenere delle misure quantitative.

La fotometria astronomica si basa sul concetto di magnitudine.

# *Stephen William Hawking*

## **3.1 Biography**

Stephen William Hawking was born on January 8, 1942 to Frank Hawking, a research biologist, and Isobel Hawking. He had two younger sisters, Philippa and Mary, and an adopted brother, Edward. Desiring a safer location for the birth of their first child, they moved to Oxford, because London was under attack at the time by the German air-force, while Isobel was pregnant with Stephen. After Stephen was born, the family moved back to London.

In 1950 Stephen and his family moved to St. Albans in Hertfordshire, where he attended St. Albans High School from the age of 11, he was a good, but not exceptional student. He went to University College, Oxford, with the aim of studying Mathematics, but he was compelled to choose Physics, because Mathematics was not offered and he was also interested in thermodynamics, relativity and quantum mechanics.

After receiving his degree in 1962 he studied astronomy; he soon realized that he was more interested in theory than in observation.

A few years later he went to Cambridge with the intent of studying theoretical astronomy and cosmology; it was then that he discovered to be suffering from amyotrophic lateral sclerosis and he lost almost all neuromuscular control; he returned to his works only two years later.

In 1965 Stephen married his first wife, Jane Wild, a language student; with Jane he had three children.

Stephen was elected as one of the youngest Fellows of the Royal Society in 1974, was created a Commander of the Order of the British Empire in 1982, and became a Companion of Honour in 1989.

In 1991 he separated from Jane and, in 1995, he married his nurse, Elaine Mason, but in 2006 Stephen filed for divorce.

At the celebration of his 65<sup>th</sup> birthday, Hawking announced his plans for a zero-gravity flight in 2007 to prepare for a sub-orbital spaceflight in 2009.

## **3.2 Research Fields**

Hawking's principal fields of research are theoretical cosmology and quantum gravity; in the late 1960s he and one of his friends, applied a new, complex mathematical model they had created from Albert Einstein's general theory of relativity.

Hawking also suggested that, upon analysis of gamma ray emissions, after Big Bang, primordial or mini black holes were formed; few years later he proposed the four laws of black hole mechanics, drawing an analogy with thermodynamics; in 1974 he calculated that black holes should create and emit subatomic particles, known as Hawking radiation, until they exhaust their energy.

Among Hawking's many other scientific investigations, included are the study of:

- quantum cosmology;
- the density matrix of the universe and its topology and structure;
- the nature of the space and time;
- the theory of supergravity;
- the theory of gravitation of other astronomist.

At a George Washington University lecture in honour of NASA's 50<sup>th</sup> anniversary, Stephen Hawking theorised on the existence of extraterrestrial life.

### *Olbers' paradox*

Hawking most famous book "*A Brief History of Time*" deals with Olbers' paradox, which was described by the German astronomer Heinrich Wilhelm Olbers in 1823.

The paradox argues that the darkness of the night sky conflicts with the supposition of an infinite and eternal static universe. If we suppose that there is an infinite number of stars, then the sky cannot darken at night; this paradox is also known as the "Dark night sky paradox" and it is one of the pieces of evidence for a non-static universe such as the current Big Bang model.

If the universe is assumed to contain an infinite number of uniformly distributed luminous stars, then:

- the collective brightness received from a set of stars at a given distance is independent of that distance;
- looking at a fixed point in the sky the sight should be terminated eventually on the surface of a star;
- every point in the sky should be as bright as the surface of a star.

A simple comparison: we see the light from the Sun about eight minutes after the time of emission, in the same way the further away the light from the stars came, the older the image viewed by the observer. This implies that if the universe is infinitely old and infinitely large, the flux received by stars, uniformly distributed in space, would be infinite.

If we place the earth in the centre of a supposed sphere, an observer from earth would see a certain number of stars with a certain brightness at a distance ( $r$ ); when the same observer looks to a further distance ( $r + x$ ) to a supposed larger sphere, he should see the same brightness of the previous sphere, because the number of stars increases by the square of the distance, while the flux (the brightness) decreases by the inverse squared.

This means that no matter how far away an observer on earth views the sky, the brightness of each consecutive hypothetical sphere would not diminish, rather they would be equal.

If the universe were infinite and had a regular distribution of stars, then there will be an infinite number of spheres and infinite amount of time for the light to reach earth (so, an infinite flux); this would mean that there would never be night on earth.

In conclusion, however, the paradox can be overcome, since we know that the universe is not infinite in time.

## *Vincent Van Gogh*

Vincent Van Gogh nacque nel 1853 a Zundert, nei Paesi Bassi, ma cominciò a dipingere solo all'età di trent'anni; dopo aver lavorato per qualche anno per la casa d'arte parigina Goupil, egli aveva intrapreso studi teologici che, però, ben presto abbandonò per dedicarsi alla predicazione ai poveri.

Dal 1879, anno in cui iniziò a disegnare da autodidatta, Van Gogh tenne, fino alla morte, una corrispondenza fittissima con il fratello Theo, ed è proprio da queste lettere che si possono ricavare i sentimenti e le preoccupazioni del pittore.

La prima fase significativa dell'attività artistica di Van Gogh coincise con il periodo passato nella cittadina di Nuenen, in cui il pittore lavorò fino al 1885; in questa prima fase si può notare un allineamento del pittore olandese al realismo francese ed, in particolare, a pittori quali Millet e Doumier. Una delle sue prime opere fu *I Mangiatori di Patate*, i colori caldi, la resa scura e la fonte di luce unica, al centro del dipinto, sono chiare allusioni al modo di dipingere dei realisti francesi; l'uso di questi colori cupi, insieme con l'espressività delle figure danno, inoltre, al dipinto, un accento fortemente drammatico.

La seconda fase della sua attività artistica coincise con il soggiorno parigino; Van Gogh entrò in contatto con la pittura impressionista e con i più celebri maestri del puntinismo (Seurat e Signac) dai quali apprese il modo di stendere il colore con rapidi tocchi di pennello. Questa seconda fase fu fortemente caratterizzata dalla produzione di autoritratti e dalla raffigurazione di interni. Celebre è il dipinto *Autoritratto*, in cui Van Gogh si riprese in posizione quasi frontale, il centro del dipinto, che appare comunque molto luminoso, sono gli occhi. Nei dipinti di questa seconda fase, il colore predominante è il giallo (*I Girasoli* e *La Camera da Letto* sono altri esempi), la pennellata è ancora piuttosto nervosa e vorticosa, segno che l'influenza realista francese non è ancora del tutto scomparsa.

La terza ed ultima fase della sua attività artistica ebbe inizio intorno al 1888, anno in cui Van Gogh ebbe una furiosa lite con uno dei suoi più fedeli amici, Paul Gauguin, a causa delle divergenze sulla reciproca concezione dell'arte, il pittore olandese non accettava, infatti, il distacco dalla realtà e la fuga nel sogno della pittura del pittore francese. Questo fatto aprì il periodo caratterizzato dalla crisi psicologica; deluso per le incomprensioni e per la partenza dell'amico Van Gogh si tagliò il lobo dell'orecchio sinistro e nel 1889, decise di entrare in una clinica psichiatrica. Dopo il ricovero, però, il maestro olandese dipinse quadri straordinari, come la *Notte Stellata*, *Terrazza del caffè in Place du Forum ad Arles la sera* e *La Notte Stellata sul Rodano*. Due costanti delle rappresentazioni di questa terza ed ultima fase sono i cipressi e i rapaci, la *Notte Stellata*, in particolare, è caratterizzata da una pennellata dall'andamento vorticoso, la rappresentazione evidenzia un violento stato d'agitazione interna del pittore e le stelle sono state interpretate come la raffigurazione degli occhi dei rapaci.

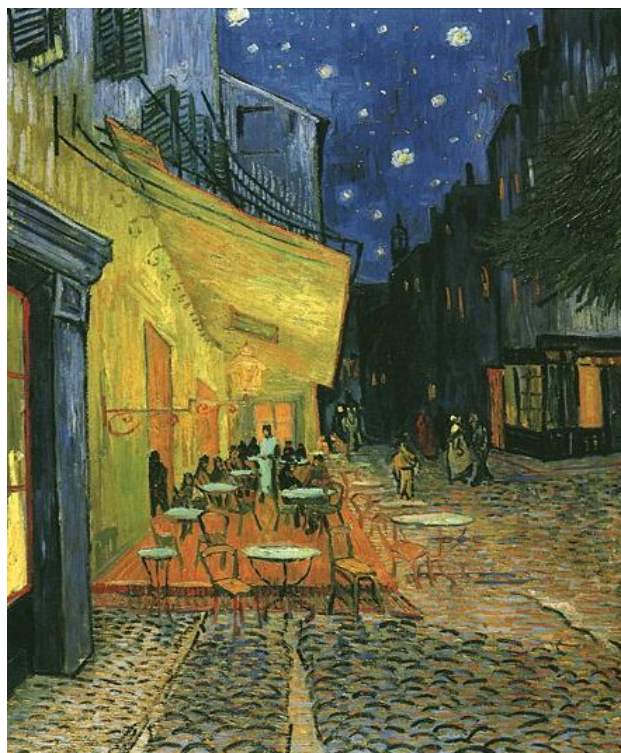
Dopo un breve soggiorno a Parigi presso il fratello Theo, nella primavera del 1890 van Gogh si trasferì a Auvers-sur-Oise, dove eseguì gli ultimi dipinti prima di suicidarsi con un colpo di pistola.



## *La Notte Stellata sul Rodano*



La *Notte Stellata sul Rodano* nasce dalla creatività di uno dei più celebri maestri pre-espressionisti in un periodo in cui lo stesso pittore soddisfa il proprio desiderio di dipingere "dal vivo-en plein air". Segue di soli pochi giorni la realizzazione della *Terrazza del caffè in Place du Forum ad Arles la sera* (in foto), opera che già offre molto spazio al cielo notturno. Mentre in quest'ultima, tuttavia, Van Gogh pone la sua attenzione soprattutto sulle luci a gas dei lampioni e sul loro modo di illuminare lo spazio circostante, a cui lo stesso pittore contrappone proprio lo scintillare delle stelle, nel dipinto *Notte Stellata sul Rodano* il cielo è il protagonista, è proprio l'elemento che suscita nell'autore le emozioni più forti. (Nell'aprile del 1888 aveva scritto a Bernard: "Un cielo stellato, ad esempio. Questa è una cosa che mi piacerebbe provare a fare. [...]. Ma come posso farlo se non a casa mia, con la mia immaginazione?").





Rispetto alla successiva, ma più celebre, *Notte stellata* (Saint-Rémy, 1889) (in foto) con i suoi affascinanti astri rutilanti, che rappresentano lo stato di agitazione interiore del pittore, e le linee che, insieme ai colori, non hanno una funzione decorativa, ma sono espressione dell'anima, il meno famoso dipinto appare una rappresentazione più realistica del cielo notturno. La stelle dell'Orsa Maggiore, che compongono la figura del Grande Carro, dominano la tela. E' noto che l'opera venne realizzata *en plein air* nel settembre del 1888. Van Gogh era consapevole di dipingere l'Orsa Maggiore (lo si può leggere nella lettera al fratello Theo scritta nel settembre dello stesso anno); anche qui l'artista si appassiona al contrasto tra la luce delle stelle e quella, violenta, delle lampade a gas che si riflette sulle acque del fiume, ma il cielo ha un ruolo centrale, motivato probabilmente proprio dalla conoscenza del soggetto astronomico presente e dal desiderio di dipingere una notte stellata, tentando di superare tutti i principali problemi di una così difficile rappresentazione. Ed è sul cielo che bisogna concentrare l'attenzione.

Appare evidente come la costellazione sia stata rappresentata così come visibile a notte fonda. Si ha la sensazione, tuttavia, che il gruppo di stelle non sia stato rappresentato entro un lasso di tempo relativamente breve, risultano infatti sbagliate le disposizioni di alcune stelle ed, in particolare, risultano alterate le proporzioni tra gli allineamenti di alcune stelle. Van Gogh riporta tutte e sette le stelle principali, modificandone però le posizioni relative.

L'opera fornisce interessanti spunti anche dal punto di vista fotometrico. La stella più brillante del Grande Carro è Alioth, che Van Gogh invece "vede" meno luminosa di altre, le stelle più "grandi" nel quadro sono Megrez (la stella, al contrario, più debole tra le sette) e Mizar, rappresentata con un "dischetto" troppo esteso, forse il maestro olandese voleva includere in questo modo la vicinissima Alcor. Tutte le stelle sono rese con il medesimo colore, di chiara dominante verde.

Tutt'intorno al "Grande Carro" è rappresentato un buon numero di altre stelle. Alcune di esse possono forse essere messe in relazione con le costellazioni circostanti e con l'Orsa Maggiore, altre probabilmente sono state aggiunte di fantasia dal pittore

La *Notte Stellata sul Rodano* offre, quindi, una rappresentazione del cielo alquanto verosimile.

## *Giacomo Leopardi*



Giacomo Leopardi nacque nel 1798 a Recanati, un paese delle Marche che, al tempo, era sotto il potere pontificio, un luogo in cui non era possibile sperare nella libertà promessa dalla campagna napoleonica in Italia.

Entrambi i genitori provengono da famiglie nobili: Monaldo, il padre, è un reazionario convinto, si ricollega al passato ed è in contrasto con tutte le idee di novità; “sbandiera” i suoi ideali reazionari e monarchici e, per un breve periodo, viene anche nominato governatore della Repubblica di Recanati, prima del ritorno dei francesi.

Adelaide, la madre, è una donna molto religiosa, più rigida ed autoritaria del marito e, gestendo il patrimonio familiare, riesce a risanare i debiti in trent’anni.

Giacomo e i suoi fratelli (Carlo e Paolina, Luigi morirà pochi giorni dopo la nascita) ricevono, sin da piccoli, per volere della madre, una ferrea educazione religiosa. Già a partire da questi anni (intorno al 1807) Giacomo provava amore e aveva sogni di gloria e di libertà (per questi suoi ideali può essere accostato a Foscolo), teneva un vero e proprio diario personale che raccoglieva le sue idee e i suoi pensieri: *Lo Zibaldone*.

All’età di 9-10 anni il giovane Giacomo scriveva poemetti e traduceva opere latine, iniziò a studiare greco autonomamente e ottenne il permesso di leggere i libri messi all’Indice; la biblioteca è il “suo mondo”, i libri diventano, per lui, l’unico mezzo per sfogare i suoi desideri di libertà.

Il 1817 è un anno fondamentale nella vita di Leopardi, sono tre gli “incontri” che caratterizzano quest’anno:

- *Incontro epistolare*: entra in contatto con Pietro Giordani, l’unica persona con cui “dialoga” apertamente e che infonde in lui una grande forza morale;
- *Incontro letterario*: legge l’autobiografia di Alfieri e scrive subito un sonetto;
- *Incontro sentimentale*: conosce Gertrude, di cui si innamora.

Nel 1819 Giacomo viene colpito da una grave malattia agli occhi, che gli impedisce di leggere e di continuare a “vivere” sui libri; capisce, in questo periodo, che quel luogo, dove ha vissuto fino all’età di 21 anni, è, per lui, come una prigione. Decide, allora, di tentare la fuga, verso Milano (luogo in cui vive Pietro Giordani), ma i suoi sogni di evadere da quella che lui sente come una prigione, si infrangono con la scoperta del padre di questo tentativo. Dopo aver rinunciato alla fuga, Giacomo sprofonda in un stato di malinconia angosciosa, la sua libertà e la sua straordinaria vitalità vengono oppresse dal mondo in cui vive, ma è in

questo periodo che scrive le sue opere, forse, più famose, che vengono raggruppate con il nome di “Idilli”: *L’Infinito*; *Il Passero Solitario*; *Alla Luna*; *La Sera del Di di Festa*.

Questi scritti preludono ad una crisi psicologica terribile che lo porta ad analizzare l’idea del suicidio; questa crisi sfocia in due poesie (composte nel 1821): *Canzone a Bruto Minore*; *Ultimo canto a Saffo*; nella prima egli difende la volontà di Bruto di togliersi la vita e i suoi ideali repubblicani e di libertà (questo gli creerà non pochi problemi, perché questi sono gli ideali che il padre stesso cerca di combattere), nella seconda riflette sulla possibilità del suicidio. In queste riflessioni Giacomo si “ribella” a Dio, lui vede la mano di dio come una mano che opprime l’uomo e non lo sostiene; Giacomo pensa al suicidio come via per ribellarsi alla sua condizione di oppresso, impostagli da Dio. E’ con queste riflessioni che diventa ateo, non ricercando nulla al posto di Dio, ma vedendo solo un immenso e malinconico vuoto.

Nel 1823 Giacomo fa un’esperienza che lo segna profondamente, durante i cinque mesi di permanenza a Roma fa visita al sepolcro di Tasso, in cui lo stesso Leopardi si rispecchia (così come lui, anche Tasso era prigioniero di chi non comprendeva la grandezza della sua immaginazione).

Smette di scrivere poesie e si dedica, tra il 1824 e il 1827, alla stesura delle *Operette morali*, 24 dialoghi sulla vita e sulla morte iniziati durante il suo primo ritorno a Recanati; dopo un viaggio tra Milano e Bologna, nel 1825-26 ed un soggiorno a Firenze nell’aprile del 1827, dove incontra un gruppo di persone con cui scoprirà il senso vero dell’amicizia, Giacomo torna a Recanati e, nel settembre di questo stesso anno, compone il “Dialogo tra Plotino e Porfirio”, il più importante di tutte le *Operette Morali*, poiché è in questo dialogo che si nota il cambiamento degli ideali di Giacomo, egli abbandona l’idea del suicidio sentendosi amato da qualcuno (gli amici fiorentini) e, anzi, accusa chi si toglie la vita di compiere un atto di estremo egoismo.

Nel 1828, dopo un soggiorno a Pisa, Giacomo si prepara per tornare, per l’ultima volta, a Recanati, con la consapevolezza che questo sia solo un ritorno alla sua infanzia, ma che non faccia più parte della sua vita.

Componete le sue ultime poesie, raccolte sotto il nome di *Grandi Idilli* o i *Miti del Borgo*: *A Silvia*; *Il Sabato del Villaggio*; *Il giorno del Di di festa*; *Le Ricordanze*.

Tutte queste poesie hanno come tema fondamentale il ricordo della giovinezza, più precisamente il ricordo del periodo precedente la giovinezza, il periodo dei sogni che fa sospirare il poeta.

Nel 1830 abbandona definitivamente Recanati, recandosi dagli amici fiorentini che lo manterranno; ritrova Antonio Ranieri e incontra Fanny Tozzetti, donna di cui si innamora, ma il suo amore viene subito disilluso in quanto capisce che i comportamenti di lei non gli permetteranno di avere con lei un dialogo privilegiato, e compone il *Ciclo di Aspasia*, “dedicato” al suo cuore, in cui vi è la conclusione di ogni altro possibile sentimento di amore, Giacomo abbandona qualsiasi speranza di potersi innamorare.

Nel 1833 si trasferisce a Napoli e, nel 1836, viene ospitato dall’amico Pietro Giordani in una casa alla pendici del Vesuvio; qui compone le sue ultime opere: *Il Tramonto della Luna*; *La Ginestra*. Nella “Ginestra” si nota la visione “conclusiva” di Leopardi, la pochezza dell’uomo di fronte alla natura e all’universo; il messaggio è un invito a prendere atto dell’infelicità degli uomini, i quali devono allearsi contro l’unica vera nemica: la natura, riprende la visione illuministica del pensiero come unico mezzo per uscire dalle barbarie.

Il “testamento spirituale” di Leopardi è che gli uomini devono unirsi contro la natura, e non credersi immortali per l’esistenza di un Dio, la stirpe umana dovrebbe essere come la ginestra, la quale non si crede immortale e, quando “uccisa”, piega il capo senza superbia né

orgoglio; l'uomo, invece, si crede immortale, ma basta uno "sputo" della natura per distruggere tutta la stirpe umana.

Il 14 giugno 1837 Giacomo Leopardi muore a Napoli, dopo aver scritto un'ultima lettera al padre, in cui spiega che le sue condizioni peggioravano sempre più.

## *Le Ricordanze*

Questo canto fu composto a Recanati tra il 26 agosto e il 12 settembre del 1829, dopo il ritorno a Recanati; fu pubblicato per la prima volta a Firenze nel 1831.

La poesia fa parte della sua ultima produzione poetica, quella dei *Grandi Idilli* o *Miti del Bosco*.

*Le Ricordanze* è forse la poesia meno famosa e conosciuta di quella che è l'ultima produzione poetica leopardiana, ma sicuramente è una delle più importanti:

*Vaghe stelle dell'Orsa, io non credea  
tornare ancor per uso a contemplarvi  
sul paterno giardino scintillanti,  
e ragionar con voi dalle finestre  
di questo albergo ove abitai fanciullo  
e delle gioie mie vidi la fine.  
Quante immagini un tempo, e quante fole  
creommi nel pensier l'aspetto vostro  
e delle luci a voi compagne! allora  
che, tacito, seduto in verde zolla,  
delle sere io solea passar gran parte  
mirando il cielo, ed ascoltando il canto  
della rana rimota alla campagna!  
E la lucciola errava appo le siepi  
e in su l'aiuole, sussurrando al vento  
i viali odorati, ed i cipressi  
là nella selva; e sotto al patrio tetto  
sonavan voci alterne, e le tranquille  
opre de' servi. E che pensieri immensi,  
che dolci sogni mi spirò la vista  
di quel lontano mar, quei monti azzurri  
che di qua scopro, e che varcare un giorno  
io mi pensava, arcani mondi, arcana  
felicità fingendo al viver mio!  
Ignaro del mio fato, e quante volte  
questa mia vita dolorosa e nuda  
volentier con la morte avrei cangiato.*

O belle stelle dell'Orsa, io non avrei mai creduto di tornare ancora a contemplarvi, come ero solito fare, scintillanti sul giardino della casa paterna, e parlare con voi dalle finestre della casa ove abitai fanciullo e dove conobbi la fine delle mie gioie. Un tempo quante immaginazioni e quante fantasie creava nel mio pensiero la vostra vista e quella delle altre stelle a voi vicine nel cielo! In quel tempo in cui, silenzioso, seduto sull'erba, io ero solito

trascorrere gran parte delle sere osservando il cielo ed ascoltando il “canto” delle rane lontane nella campagna. E le lucciole volavano presso le siepi e sulle aiuole, mentre i viali profumati e i cipressi lontani nel bosco sussurravano al vento; e nella casa paterna risuonavano voci alterne e i rumori dei tranquilli lavori della servitù. E quali pensieri infiniti, quali dolci sogni mi ispirava la vista di quel mare lontano e di quei monti azzurri che vedo da questa casa e che sognavo un giorno di varcare, pensando di trovarvi, al di là, mondi sconosciuti e una felicità sconosciuta alla mia vita! E quante volte, ignaro del mio destino, avrei scambiato questa mia vita dolorosa e spoglia, con la morte.

Giacomo Leopardi scrive questi versi (sopra sono riportati i primi 27 de *Le Ricordanze*) mentre contempla il cielo stellato ed, in particolare, le stelle dell’Orsa Maggiore (*Vaghe stelle dell’Orsa*); il cielo stellato serve per far prendere contatto al poeta con la dimensione sentimentale dell’adolescenza e dell’infanzia, passata tra le mura di quella casa in cui lui, ora, si ritrova nuovamente. Questa contemplazione avviene quasi con stupore (*io non credea / tornare ancor per uso a contemplarvi*), il ricordo dell’ormai lontano periodo della giovinezza fa sospirare il poeta e questo contatto tra il ricordo ed il presente è molto spesso, nell’arco di tutta la poesia, di contrasto.

Le stelle che lui contempla sono quelle stesse stelle che lui contemplava nei primi anni della sua vita nella casa paterna; da questa rinnovata presa di contatto con il passato emerge il suo pensiero riguardo quel periodo, la giovinezza è, per Leopardi, l’unico periodo nel quale l’uomo può essere ignaro della sua sventura (*ove abitai fanciullo / e delle gioie mie vidi la fine*).

Osservando il cielo stellato si inseguono, nella mente del poeta, tutte quelle visioni, quelle favole e quelle fantasie che erano solite crearsi nella sua mente (*quante immagini un tempo, e quante fole / creommi nel pensier l’aspetto vostro / e delle luci a voi compagne*); la natura, inoltre, aiuta il poeta a ricreare e a riprovare quelle emozioni intense fatte di suoni (*ed ascoltando il canto / della rana rimota alla campagna*), di bagliori (*e la lucciola errava appo le siepi*), di profumi (*e in su l’aiuole, sussurrando al vento / i viali odorati*) e di voci familiari (*sotto al patrio tetto / sonavan voci alterne, e le tranquille / opre de’ servi*).

In lontananza appaiono i mari ed i monti (*quel lontano mar, e quei monti azzurri*), punti estremi dell’orizzonte che lo dividono dall’infinito, invalicabili, fino a quel momento, fisicamente, ma idealmente penetrabili con il pensiero e con l’immaginazione di cui il poeta fa larghissimo uso (*E che pensieri immensi / che dolci sogni mi ispirò la vista*); i limiti terrestri (le montagne ed il mare) potranno essere, un giorno, finalmente varcati, con l’esperienza del viaggio e della conoscenza e potranno finalmente portare il poeta-fanciullo a provare quel sentimento di felicità a lui sconosciuto (*che varcare un giorno / io mi pensava, arcani mondi, arcana / felicità fingendo al viver mio*).

Tuttavia quella di superare questi “limiti” non è una speranza reale per il poeta-fanciullo, bensì una consapevolezza del dolore, del disinganno e della tragicità della situazione in cui si trova e che il poeta stesso avrebbe volentieri barattato, in quel periodo di crisi psicologica, con la morte (*quante volte / questa mia vita dolorosa e nuda / volentieri con la morte avrei cangiato*); si può qui notare, inoltre, come sia cambiato il pensiero del poeta riguardo all’idea del suicidio, inizialmente visto come unica soluzione per ribellarsi alla sua condizione impostagli da Dio e poi, dopo l’incontro con la “vera felicità” (gli amici fiorentini), visto come atto di estremo egoismo.

*Ricordanza* è dunque questo smarrirsi nella contraddittoria ambiguità tra l’immaginazione e la consapevolezza della falsità delle illusioni.

## *Bibliografia*

- Gilda Romano, Nunzio Romano, *Conoscere le scienze*, Fabbri Ed., Milano 1991
- Marco Brambilla, Fiorentino Leoni, Mauro Villa, *Le Scienze e l'evoluzione della Vita*, Edizioni Mursia, Milano 1986
- Piero Bianucci, Luisella Crotta, Luigi Motta, Michele Motta, *Il Sistema Terrestre*, DeAgostini Ed., Novara 2006
- Paul A. Tipler, *Invito alla Fisica*, Zanichelli Ed., Bologna 1991
- Stephen Hawking, *A Brief History of Time*, Rizzoli Ed., Milano 1988
- Laura Beltrame, Elena Demartini, Lavinia Tonetti, *L'Arte tra noi*, Mondadori Ed., Roma 2007
- Romano Luperini, Pietro Cataldi, Lidia Marchiani, Valentina Tinacci, *La Scrittura e l'interpretazione*, Palumbo Ed., Milano 2004
- Guido Baldi, Silvia Giusso, Silvia Sanseverino, Francesco Landolfi, *Dal Testo alla Storia, dalla Storia al Testo*, Paravia Ed., Torino 1993

## *Sitografia*

- <http://homepage.sns.it/caprioli/astro.html>
- <http://www.fisica.unile.it/astro/Astronomia.html>
- <http://www.hawking.org.uk>
- <http://www.castfvg.it>