

Fr. Natalino Prof. Dott. Cesare De Rossi

SCIENZE DELLA TERRA

N° 1

“ASTRONOMIA”

Collegio S. Giuseppe –Istituto De Merode
 Anno Scolastico 2001 - 2002
 Ai miei Alunni ed Ex-alunni

A S T R O N O M I A

N° 1

L'UNIVERSO E LA SUA EVOLUZIONE

INDICE

- 1- Generalità e definizione di Universo.
- 2- Struttura del Grande Universo
- 3- Come si studia l'Universo: Onde elettromagnetiche – Radiotelescopi
Spettrografi - Telescopi
- 4- Costituzione dell'Universo: Stelle - Galassie - Ammassi di Galassie
Tipi di Galassie - Quasar - Interloper - Pulsar - Raggi Cosmici
Energia – Materia e Antimateria.
- 5- Teorie Cosmologiche
 - A)- Cosmologia Antica:
 - a)- Cosmologia Indiana
 - b)- Cosmologia Egiziana
 - c)- Cosmologia della Scuola Pitagorica
 - d)- Cosmologia della Scuola Alessandrina
 - e)- Geocentrismo di Claudio Tolomeo
 - f)- Eliocentrismo di Niccolò Copernico
 - g)- Cosmologia Tyconica del danese Thicho Brahe (Ticone)
 - B)- Cosmologie contemporanee:
 - a)- Ipotesi del Big-Bang
 - b)- Ipotesi dell'Universo Pulsante
 - c)- Ipotesi dell'Universo Stazionario
 - d)- Ipotesi di Alfvén-Klein o dell'ambi plasma
 - e)- Ipotesi nuove sull'Universo
- 6)- Principali unità di misura in Astronomia
- 7)- Origine delle Galassie e delle Stelle
- 8)- Espansione dell'Universo
- 9)- Età dell'Universo

oooooooooooooooooooooooooooo

GENERALITA' E DEFINIZIONE DI UNIVERSO

A) — GENERALITA' SULL'UNIVERSO

1- L'osservazione e lo studio delle stelle affascinarono sempre l'uomo ma anche se, tra gli Antichi, vi furono menti geniali, che intuirono fenomeni celesti, come il sole immobile al centro della sfera, la precessione degli equinozi, il moto apparente delle stelle, pur tuttavia, per lungo tempo, il cielo rimase simbolo d'immutabilità ed eternità

2- Bisogna arrivare fino al secolo di Galileo Galilei, con l'osservazione delle stelle variabili, perché l'uomo incominci a pensare a fenomeni evolutivi degli astri e fino al 19° secolo, perché si renda conto che le stelle, sono sede di continue trasformazioni di energia.

3- Da questo momento in poi l'osservazione è basata su dati scientifici ricavati, soprattutto dallo studio della luce intensa come flusso di energia e costituita da varie frequenze che, opportunamente analizzate permettono di conoscere: composizione, temperatura ed altre caratteristiche dei corpi celesti.

Ma lo studio delle onde luminose si mostrò insufficiente all'indagine degli oggetti più lontani dell'Universo, come i Quasar, e perciò, dal 1950 in poi si andò affermando, sempre più la Radio - astronomi.

B) — DEFINIZIONE DI "UNIVERSO"

1- Oggi, con questo termine s'intende tutto il complesso, dei corpi celesti diversi fra loro, non tanto per la forma o la costituzione, quanto, soprattutto, per lo stadio evolutivo in cui si trovano. Il cielo degli antichi, limitato alle stelle visibili ad occhio nudo e a pochi pianeti, è, per noi oggi l'Universo in espansione, sede delle forme più svariate di energia.

2- Il Sole, con tutti i corpi che gli ruotano intorno, forma il Sistema Solare. Il Sistema Solare con oltre 200 miliardi di Stelle, circa, forma l'"Universo Stellare o Galassia".

STRUTTURA DEL "GRANDE UNIVERSO"

A)- STRUTTURA SCHEMATICA DELL' UNIVERSO

N.B.- La struttura deve essere interpretata come "**dinamica**" e non, evidentemente, come "**statica**".

- a)- **A1 centro**, secondo il nostro punto di vista, vi è il, così detto "**Gruppo Locale**", formato dalla nostra Galassia e da altre 27 Galassie fra le quali ricordiamo: **Andromeda (M 31), le due Nubi di Magellano**, ecc.
- b)- **Al di là del "Gruppo Locale"** vi è uno "**Spazio Vuoto**" (da Galassie) che può oscillare tra **50.000 e 200.000 anni luce**.
- c)- **Oltre lo Spazio Vuoto** vi sono **100 Ammassi Globulari**. Questi Ammassi Globulari sono come giganteschi satelliti che circondano e seguono il Gruppo Locale nel suo movimento.
- d)- **Al di là degli "Ammassi Globulari"**, vi è un altro "**Enorme Spazio Vuoto**" di **750.000 anni luce**.
- e)- **Oltre il secondo "Spazio Vuoto"** vi sono, circa "**100 milioni di Nebulose Spirali e Galassie Esterne**", di forma lenticolare, con due braccia che avvolgono il nucleo, dotate di un moto di rotazione intorno al proprio asse e di un moto di traslazione nello spazio.
- f)- **Al di là delle "Galassie Esterne"** vi sarebbe ancora altro imprecisato "**Spazio Vuoto**" oltre il quale vi sono corpi speciali come: **Quasar, Pulsar, Interloper e Galassie specialissime**, scoperte di recente.

SINTESI SULLA STRUTTURA DEL GRANDE UNIVERSO O COSMOS

- 1- Gruppo Locale
- 1- Spazio Vuoto
- 2- 100 Ammassi Globulari
- 3- Spazio Vuoto
- 4- 100 milioni di Nebulose Spirali
- 5- Spazio Vuoto
- 6- Quasar, Pulsar, Interloper
Galassie

h)- GALASSIA O VIA LATTEA

È detta così perché, secondo la mitologia, sarebbe stata originata dal latte caduto dalle labbra di Ercole, mentre era allattato da Giunone.

Presenta la forma di una **gigantesca lente biconvessa** che racchiude, circa **200 miliardi di stelle**.

Il suo diametro maggiore è di **100.000 anni luce** e il minore di **20.000 anni luce**.

La Via Lattea si sposta verso **un punto della costellazione di Ercole**, con una velocità di **20 Km/sec**.

Ha un **moto di rotazione e di traslazione nello spazio**, spostandosi con una velocità di **160-328 Km/sec**.

La Via Lattea è formata da: **Ammassi Stellari, Nebulose luminose, Nebulose oscure, Stelle binarie, Stelle variabili, Novae e Supernovae, Pulsar, Sorgenti di Raggi X, Buchi neri**, come ogni altra Galassia.

La **Via Lattea** con tutti i suoi componenti, forma l'**Universo Stellare o Galassia**.

Le Galassie con gli Ammassi Globulari e con le Galassie Esterne o Nebulose Spirali formano il Grande Universo o Cosmo.

Le Galassie si allontanano le une dalle altre e, cioè, l'Universo si espande verso tutte le direzioni.

COME SI STUDIA L'UNIVERSO

A) — ONDE ELETTROMAGNETICHE

Le Radiazioni elettromagnetiche ci forniscono tutte le informazioni concernenti l'Universo.

Le Onde luminose visibili e le radiazioni invisibili, sono di natura elettromagnetica, si propagano nel vuoto e giungono dai Corpi Celesti fino a noi.

Si differiscono le une dalle altre, solo per la lunghezza d'onda e per questo si dividono in :

- a)- **Onde Herziane** con lunghezza d'onda maggiore di 10^{-4} m.
- b)- **Raggi infrarossi** con lunghezza d'onda da 10^{-4} a $7,6 \cdot 10^{-7}$ m.
- c)- **Luce visibile** con lunghezza d'onda da $7,6 \cdot 10^{-7}$ a $3,8 \cdot 10^{-7}$ m.
- d)- **Raggi Ultravioletti** con lunghezza d'onda da $3,8 \cdot 10^{-7}$ a 10^{-9} m.
- e)- **Raggi X** con lunghezza d'onda da 10^{-9} a 10^{-11} m.
- f)- **Raggi Gamma** con lunghezza d'onda inferiore a 10^{-11} m.

La ricerca degli Scienziati si basa sullo studio della luce visibile (Finestra Ottica) e delle Radio Onde (Finestra Radio).

I Telescopi e gli Spettrografi esaminano le Onde luminose, i Radiotelescopi, le Onde Radio. Queste onde consentono di determinare la posizione dei Corpi Celesti e le loro proprietà fisiche e chimiche.

B- STRUMENTI USATI PER L'INDAGINE ASTRONOMICA

a)- **TELESCOPI:** possono essere corredati di:

1. **Fotometri:** determinano la luminosità degli astri.
2. **Spettrografi:** analizzano la luce visibile.
3. **Macchine Fotografiche:** fissano le immagini.

b)- **RADIOTELESCOPI:** captano le Onde Radio provenienti da corpi anche lontanissimi non osservabili con i Telescopi.

c)- **TELESCOPI:** Sono strumenti ottici idonei all'osservazione di oggetti posti ad una distanza, teoricamente, infinita. Sono formati da un sistema ottico detto "oculare" (1), vicino all'osservatore e un sistema ottico detto "obiettivo" (2), disposto dalla parte dell'oggetto da osservare. L'oculare è sempre costituito da un sistema di lenti:

I Telescopi, per quanto riguarda l'obiettivo, possono essere distinti:

- a)- **Telescopi Rifrattori:** se usano, come obiettivo, un sistema di lenti.
- b)- **RIFLETTORI:** se, al posto delle lenti, usano uno specchio concavo.

Nel cannocchiale Astronomico come nei Telescopi, l'immagine reale è capovolta, fornita dall'obiettivo, viene ulteriormente ingrandita dall'oculare.

Nel Telescopio, l'energia luminosa proveniente dagli astri viene raccolta e concentrata, dallo specchio concavo, su di un piano. La prolungata esposizione di una pellicola fotografica, mentre il Telescopio

segue automaticamente il moto apparente della sfera celeste, consente di ottenere una immagine anche di astri di debole splendore.

CARATTERISTICHE DI UN TELESCOPIO

INGRANDIMENTO: si ottiene moltiplicando l'ingrandimento dell'obiettivo per l'ingrandimento dell'oculare.

POTERE SEPARATORE O RISOLUTIVO: è la capacità dello strumento di fornire immagini distinte di due sorgenti luminose, anche molto vicine tra loro.

LUMINOSITA': è la quantità di luce raccolta dall'obiettivo e concentrata su l'oculare, dipende dalle dimensioni de l'obiettivo.

GRANDI TELESCOPI NEL MONDO

- **quello americano di MONTE PALOMAR;** diametro dello specchio di 5,8 m.

- **quello sovietico di ZELECHUSKAYA, nel Caucaso,** con diametro di 6 m.

- **TELESCOPI SU SATELLITI:** l'atmosfera ostacola l'osservazione ottica, assorbendo molte radiazioni.

Pertanto, recentemente, sono stati montati telescopi su satelliti orbitanti intorno alla Terra.

- osservatorio **COPERNICUS**, lanciato dalla NASA nel 1972.

- osservatorio **EINSTEIN**, messo in orbita nel 1978 (specchio di 88 cm).

- lo **SPACE LAB**, lanciato nel 1983, da USA ed EUROPA, per lo studio dei raggi X, fortemente assorbiti dall'atmosfera terrestre.

A)- STRUMENTI ASSOCIATI AI TELESCOPI:

- **FOTOMETRI:** strumenti forniti di cellule fotoelettriche per la misura dell'intensità luminosa.

- **SPETTROGRAFI:** strumenti capaci di analizzare la luce visibile emessa dai Corpi celesti, scomponendola nei suoi costituenti.

La **luce bianca** può essere scomposta in una successione di colori che partendo dal **rosso (massima lunghezza d'onda, minima energia)** giunge al **violetto (minima lunghezza d'onda, massima energia)**.

Osservando direttamente una sorgente luminosa, si ha uno spettro di emissione continuo, con **bande brillanti**, se il gas è allo stato molecolare, o con **righe brillanti**, se è allo stato atomico. Si possono determinare dalla posizione delle bande o delle righe gli elementi in esso presenti.

Se la luce, capace di produrre uno spettro continuo, attraversa un gas più freddo, gli elementi presenti in quest'ultimo assorbono esattamente la lunghezza d'onda che il gas sarebbe capace di emettere e si comporta da sorgente, invece che da mezzo assorbente.

Si ottiene così uno spettro d'assorbimento, nel quale vengono a mancare le bande o le righe degli elementi presenti, sia nella luce emittente, che nel gas più freddo esterno. Esse sono costituite da bande o righe nere, dette di **Fraunhofer**, dallo scienziato che, proseguendo gli studi di Newton, le scoprì per primo.

La maggior parte delle stelle emette spettri di assorbimento, il che indica che esse hanno un nucleo interno molto caldo che produce lo spettro di emissione e una atmosfera, via via più fredda, che dà luogo alle righe di assorbimento.

E' quindi possibile, mediante la spettrografia, conoscere la composizione interna ed esterna dei corpi celesti.

B)- RADIOTELESCOPI

Sono stazioni radioriceventi dotate di una grande antenna, capace di raccogliere e concentrare le onde elettromagnetiche non visibili, provenienti dalle più varie direzioni dello spazio e di sistemi di amplificazione e registrazione di segnali.

Particolari tipi di radiotelescopi sono forniti di radar, cioè di un impianto capace di emettere, in direzione della luna o dei pianeti, più vicini un fascio di radiazioni elettromagnetiche e di registrare al loro ritorno, le onde riflesse.

Essendo noto il tempo impiegato dall'energia nel viaggio di andata e ritorno e la sua velocità, si può calcolare la distanza intercorrente tra trasmettitore e bersaglio. I Radiotelescopi analizzano le onde elettromagnetiche aventi lunghezza d'onda compresa tra qualche millimetro e parecchi metri.

Sono costruiti sullo stesso principio dei telescopi ottici a riflessione, ma, nella loro forma più semplice, invece di uno specchio, presentano un paraboloide di metallo che riflette le onde radio nel fuoco, dove un'antenna a dipolo è collegata con un ricevitore e un registratore che trasformano le onde in grafico. Siccome la lunghezza d'onda varia da qualche millimetro ad alcuni metri, vengono costruiti radiotelescopi sintonizzati per captare onde radio di una determinata lunghezza d'onda.

Fra i più importanti radiotelescopi ricordiamo quello di Yodrell Bank a Cambridge in Inghilterra; quello di Green Bank negli Stati Uniti; quello di Medicina presso Bologna in Italia.

Il più grande esistente è quello di Arecibo a Portorico con cavità parabolica di 305 metri di diametro.

Concludendo, mediante telescopi e spettrografi si ottengono spettri ottici degli elementi che costituiscono gli astri; con i radiotelescopi si ottengono spettri acustici degli stessi elementi, anche per astri non visibili.

Ad esempio, l'idrogeno, che allo stato eccitato emette sullo spettro ottico una riga intorno ai 60 \AA , allo stato neutro "fa sentire una voce" alla lunghezza d'onda di 25 cm.

Attualmente si vanno diffondendo gli **interferometri**, costituiti da un certo numero di **radiotelescopi** fra loro collegati, disposti a distanze variabili, a seconda delle necessità della ricerca.

N.B.- Recentissima è la **tecnica interferometrica** a larghissima base (VLBI acronimo di "**very long baseline interferometry**"), con la quale i radiotelescopi possono trovarsi, addirittura, su continenti diversi.

Gli strumenti che non sono tra loro collegati, puntano sullo stesso obiettivo. I segnali ricevuti sono registrati su nastro magnetico e, in seguito, confrontati.

COSTITUZIONE DELL'UNIVERSO

Dal capitolo precedente sappiamo che l'Universo è formato da: **Stelle, Ammassi Stellari o Galassie** di vari tipi, da **Nubi Cosmiche**, da **Quasar, Interloper, Pulsar, Raggi Cosmici, Materia ed Energia**.

a)- STELLE: sono masse gassose aventi temperature molto alte, dovute a proprie fonti di energia (**Reazioni termonucleari**).

b)- NUBI COSMICHE O NEBULOSE: sono oggetti celesti, chiamati così perché hanno l'aspetto di nubecole molto tenui. Si dividono in **Nebulose risolvibili** (se al telescopio si risolvono in **ammassi di stelle**) e **Nebulose irrisolvibili** (se appaiono formate da **materia cosmica continua**).

Le **Nebulose risolvibili** si chiamano "**Isole Universo**" o "**Nebulose estragalattiche**", perché poste oltre la nostra Galassia.

Le Nebulose irrisolvibili si chiamano semplicemente **Nebulose** e si distinguono in tre categorie:

- **Nebulose planetarie:** costituite da masse di gas a debole densità, debolmente illuminate, condensate in anelli concentrici, con nel centro una debole stellina: per esempio la **Nebulosa della Lira**.

— **Nebulose Oscure:** formate da polvere cosmica minutissima. Per esempio: i "**Sacchi di Carbone**", le "**Nubi di Magellano**", la "**Testa di Cavallo**", ecc.

— **Nebulose Diffuse:** forse simili alle **oscure**, ma appaiono debolmente luminose per la presenza, nelle vicinanze, di una fulgida stella.

N.B.- Oggi si pensa che tutte le **nebulose** siano oscure; quelle luminose (Planetarie Diffuse) sono tali o perché riflettono la luce di stelle o perché le particelle di cui sono costituite, vengono eccitate da astri vicini, dotati di alta temperatura.

c)- **GALASSIE:** sono enormi ammassi di Stelle, di tipi e grandezze varie, formate da polvere cosmica e gas (idrogeno in prevalenza).

Secondo **Hubble**, rispetto alla forma si classificano in **ellittiche** (ED, E3, E7) in **spirali normali** (SO, Sa, Sb, Sc) e in spirali barrate (SBa, SBb, SBc).

d)- **QUASAR – INTERLOPER - PULSAR:** Sono oggetti celesti scoperti di recente.

-**QUASARS:** (QSRO = "Quasi stellar radio objects = (Oggetti quasi radio stellari) Oggetti extragalattici con emissioni radio d'intensità gigantesca, Fortemente concentrate che sembrano derivare da corpi celesti dall'apparenza stellare che si trovano, però, alla distanza di miliardi di anni luce, quindi, oltre le galassie più lontane. Si stima che una sola Quasar emetta energia con un'intensità paragonabile a mille miliardi di stelle come il Sole, quindi deve trattarsi di processi, forse, di origine gravitazionali, che interessano intere galassie. Presentano rapide variazioni di colore, di splendore, anormalmente bue.

-**INTERLOPERS:** (Galassie quasi stellari (QSG) Differiscono dalle Quasar solo per l'assenza delle emissioni radio.

- **PULSARS:**(o radio sorgenti pulsanti) Scoperti, per caso, nel 1967 durante l'osservazione dei Quasars. Da alcuni, la Pulsar, è ritenuta una libera forma di materia, in uno stato, superdenso detto "**Stella a neutroni**". Una tale Stella, conterrebbe la massa del Sole, in una sfera di pochi Km di diametro, e, sarebbe Così densa che, qualche decina di centimetri cubici del suo interno, possono raggiungere il peso di 100 milioni di tonnellate.

Le Pulsars girano rapidamente su se stesse emettendo una pulsazione ad ogni rotazione. La maggior parte delle pulsazioni ci giunge con sorprendente regolarità simile ad un orologio atomico. La durata delle pulsazioni è compresa tra 20 e 40 millesimi di secondo.

Emette radiazioni di vario tipo: luminose, radio, X. Si ritiene trattarsi di una stella di massa elevata che, sotto l'effetto gravitazionale, sia collassata, trasformandosi in una stella a neutroni. Questa, per effetto della conservazione del "momento angolare" è portata a ruotare su se stessa vorticosamente, emettendo di conseguenza, la propria radiazione in forma pulsante.

- **RAGGI COSMICI:** Sono stati scoperti nel 1911.

- Sono costituiti da protoni ed elettroni che provengono da zone extraterrestri (Galassia o, forse, dal Sistema Solare) e bombardano, di continuo la Terra.

Questi raggi attraversano uno schermo di piombo di 20 m., sono poco intensi al livello del mare, aumentano a 30 Km di altezza; a maggiori altezze vengono assorbiti dalla stratosfera.

- Trasformano gli atomi di azoto atmosferico in carbonio radioattivo (^{14}C) e idrogeno.

- I Raggi Cosmici, hanno una radiazione con frequenza maggiore di quella dei Raggi X e lunghezza d'onda minore di 10^{-10} m.)

e)- **ENERGIA E MATERIA NELL'UNIVERSO:** l'Universo è costituito da energia e materia che possono interagire ed anche convertirsi (Einstein).

-**ENERGIA:**

Tutti i fatti dinamici osservabili nell'Universo sono legati alla presenza di energia, considerata come potenzialità a compiere lavoro.

-Essa si presenta sotto forme diverse: **gravitazionale, cinetica, chimica, nucleare, luminosa, termica.**

Tra queste forme esiste una gradazione di valori. Una forma di energia può trasformarsi in un'altra di valore minore; non può mai avvenire il contrario.

Al culmine della scala dei valori sta l'**Energia gravitazionale**, dovuta alla attrazione reciproca delle masse, che tendono ad avvicinarsi e a fondersi in un tutto unico.

—Questa energia, dopo 10 miliardi di anni non si è ancora e difficilmente si esaurirà

Ciò è dovuto a molti fattori:

- la materia è suddivisa in tante masse poste a distanze grandissime tra loro;
- i corpi celesti sono tutti in movimento;
- componente principale della materia è l'idrogeno.

Proprio la presenza prevalente dell'idrogeno determina la lunga durata dell' Universo e il permanere della forza gravitazionale.

Le reazioni nucleari che trasformano l'idrogeno in elio vengono attivate dalle temperature altissime prodotte dalla contrazione gravitazionale e danno origine a tutta l'energia necessaria ad impedire il collasso della materia concentrata nelle stelle.

Esauritosi l'idrogeno, l'intensità della forza gravitazionale aumenta e, con essa, aumenta la temperatura.

Si innescano allora nuovi cicli di reazioni nucleari che continuano ad allontanare il collasso gravitazionale.

- C'è ancora da dire, inoltre, che i corpi celesti hanno capacità limitate di conduzione e di irradiazione e che anche questo contribuisce a far sì che la forza gravitazionale permanga, ma che non abbia il sopravvento, che porterebbe al collasso della materia e alla sua scomparsa.

MATERIA:

Si considera materia tutto ciò che occupa spazio, ha massa ed è soggetto a forza di gravità. La materia di cui è costituito l'Universo è fatta prevalentemente di idrogeno ed elio che a loro volta si riuniscono a formare Galassie.

- Nelle Galassie, tra le Stelle, si trova ancora materia, costituita da particelle atomiche, atomi e polvere cosmica, che si ritiene formata dalla materia dell'originale Galassia, non condensatasi a dare stelle, con l'aggiunta, in certe zone, dei prodotti dell'esplosione si **novae** e **supernovae**.
- Tra una Galassia e l'altra la materia è rarefatta al massimo.
- La densità generale dell'Universo è oltremodo bassa date le enormi distanze tra gli astri. Essa è stata calcolata pari ad 1 atomo di idrogeno per m³.

TEORIE COSMOLOGICHE

EVOLUZIONE DELLE TEORIE SULL'ORIGINE E SULLA STRUTTURA DEL GRANDE UNIVERNO O COSMO

N.B. - Per impostare, in modo comprensibile, l'argomento delle **“Teorie cosmologiche”**, preferisco evidenziarne la logica evoluzione, collegata alla evoluzione dell'intelligenza umana.

Le teorie cosmologiche sono ipotesi, tendenti a spiegarci l'origine dell'Universo e la sua struttura.

Prenderò, pertanto, in considerazione prima una **“Cosmologia Antica”** per arrivare, poi, ad una **“Cosmologia Moderna o Contemporanea”**.

A)- COSMOLOGIA ANTICA

- Prenderò in considerazione solo le teorie più caratteristiche dei popoli, storicamente, più evoluti.

1. Cosmologia Indiana:

- L'Jmalaia. La **“grande Montagna”** avrebbe diviso la Terra in Europa ed Asia.
- Attorno ad essa avrebbero ruotato tutti gli astri, Sole compreso, che avrebbe illuminato a turno, ora l'Europa, ora l'Asia.
- In questa ipotesi, ripresa poi dai Sumeri e dagli Assiro - Babilonesi c'è già l'idea che, mentre in una parte del mondo è giorno, nell'altra è notte.

B- COSMOLOGIA EGIZIANA

- La Terra è un **disco** sormontato da una cupola celeste, fatta muovere in modo magico dalle **divinità**.

- Alcune tribù ebraiche immaginavano che intorno alla volta celeste si estendesse un immenso **oceano primordiale**. Quando nella cupola si aprivano piccole falle, cadeva la pioggia. Essi avevano una grande paura che, allargandosi le falle, si potesse verificare il **diluvio** capace di sommergere la Terra.

C- COSMOLOGIA DELLA SCUOLA PITAGORICA

- L'idea della **Terra** come **sfera** e della calotta che si trasforma in **sfera celeste** si ritroverà nella scuola Pitagorica (580 a.C.). I Pitagorici parlano di **antipodi** e dicono che l'alternarsi del dì e della notte dipendesse dal movimento della Terra intorno ad un **fuoco centrale** che non coincide, però, con il Sole.
- Già gli ultimi Pitagorici affermano che la Terra ruota attorno al proprio asse.

C- COSMOLOGIA DELLA SCUOLA ALESSANDRINA

- Gli astronomi della Scuola Alessandrina: **Ipparco, Eratostene, Aristarco**, hanno già chiaro il concetto della **sfericità** della Terra.
- Eratostene, basandosi su questo concetto, riesce a misurare la **lunghezza del meridiano terrestre**.

D- CALCOLO DEL MERIDIANO TERRESTRE SECONDO ERATOSTENE

- Aristarco (180 a.C.) ha, addirittura, l'intuizione dell'**eliocentrismo**, avendo compreso che la Terra gira intorno al Sole.
- Ipparco (180 a.C.) è, invece, convinto assertore del **geocentrismo**.
- *)- Tra i sistemi ideati per spiegare la struttura dell'Universo ed il meccanismo del movimento degli astri, si affermarono quello di **Claudio Tolomeo** e quello di **Nicolò Copernico**.

E— GEOCENTRISMO DI CLAUDIO TOLOMEO

1- Generalità:

E' la prima ipotesi astronomica completa; viene enunciata nel 150 a.C. da Claudio Tolomeo nel suo **Trattato di Cosmologia** in 13 Volumi: **L'Almagesto**.

Egli descrive un "**Universo geocentrico a cicli concentrici**", che diviene il sistema accettato durante tutto il Medioevo e adottato dalla Chiesa.

- Nonostante le molte inesattezze e artificiosità, il sistema tolemaico rimase l'unico ritenuto valido, perché in tutto il Medioevo la ricerca scientifica fu ostacolata da alcuni membri della Chiesa dalle continue guerre e dal succedersi degli sconvolgimenti politici.

F- SISTEMA GEOCENTRICO O TOLEMAICO

- Anticamente 5 erano i pianeti conosciuti e visibili ad occhio nudo:

Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno; ad essi furono aggiunti: **Luna e Sole**.

*)- **Claudio Tolomeo** (138-181 a.C.) nato e vissuto in Egitto, autore dell'"**Almagesto**" (grandiosa opera in 13 volumi) perfezionò e divulgò il "**Sistema Geocentrico**" (avente per centro la **Terra**) detto anche "**Sistema Tolemaico**".

- Secondo tale sistema la "**Terra è immobile al centro dell'Universo**".

- Attorno alla Terra girano 7 pianeti, in questo ordine: Luna, Mercurio, Venere, Sole, Marte, Giove e Saturno. Essi si trovano all'"**Equatore**" di altrettanti cieli, "**trasparenti e invisibili**", che hanno lo stesso nome dei pianeti.

— I pianeti sono, a loro volta, circondati da un "ottavo cielo detto "**cielo delle stelle fisse**".

Il cielo stellato aveva per asse l'asse del mondo e ruotava intorno alla Terra in **"24 ore"**, da oriente ad occidente, trascinando, tutti gli altri cieli sottostanti.

SI SISTEMA GEOCENTRICO DI TOIOMEIO

- Gli **"8 cieli"** avevano oltre al **"moto comune diurno da oriente a occidente"**, un **"moto proprio"**, di durata variabile dall'uno all'altro, che si effettuava da **"occidente ad oriente"** (in senso contrario al primo) su assi che risultavano variamente obliqui rispetto a quello del **"cielo stellato"** e le cui orbite erano proiettate su una fascia del **"cielo stellato"** detta **"Zodiaco"**.

- Con la scoperta della **"precessione degli equinozi"**, al **"cielo stellato"**, avrebbero dovuto attribuire **"due movimenti di rivoluzione"**.

Assegnarono, allora ad esso, solo il lento moto di precessione, stimato pari ad **"1 grado ogni cento anni"**, e posero un altro cielo, chiamato **"Primo mobile o Cristallino"**, al di fuori delle stelle fisse che possedeva solo il **"moto diurno"** e presiedeva a quello diurno di tutti gli altri cieli.

— Si ebbero così **"9 cieli"**, ai quali, nel medio evo aggiunsero, un **"Decimo cielo, l'Empireo"**, considerato, immobile, immateriale e sede di Dio, degli Angeli e dei Beati.

- I cieli impiegavano **"Un giorno"** per ruotare intorno alla Terra ed erano dotati di **"diversa velocità"**.

- Il Sole compiva il suo **"moto proprio"**, con velocità uniforme, descrivendo una circonferenza leggermente eccentrica rispetto alla Terra detta **"deferente"**.

- Gli altri pianeti, invece di percorrere direttamente il loro cerchio, ruotano sopra **"un cerchio più piccolo, detto "epiciclo"** che aveva per centro un punto del **"deferente"**.

- Marte, per esempio, descrive il suo epiciclo ma viene trascinato contemporaneamente dal suo deferente, intorno alla Terra, per cui quando si trova nella metà dell'epiciclo, che si muove nello stesso verso del deferente, ha un **"moto diretto"**; quando è nella metà dell'epiciclo che si muove in senso opposto al deferente, compie un **"moto retrogrado"**.

- Dante nella topografia del suo poema segue la **"teoria geocentrica"**

- **N.B.**- Sull'**"epiciclo"** si compie la **rivoluzione sinodica** (in congiunzione col Sole) dei pianeti..

- Nel **"deferente"** si compie la rivoluzione siderea di 360°, cioè **"in relazione ad una stella"**.

SISTEMA GEOCENTRICO O TOLEMAICO

LA RIVOLUZIONE COPERNICANA

f)- Eliocentrismo di Niccolò Copernico.

- Il **"Sistema Geocentrico"** tenne il campo per oltre un millennio. Solo intorno al **"1500"** fu formulata, con solide basi scientifiche, la teoria **"Eliocentrica o Copernicana"**.

— Il canonico **"Niccolò Copernico (1473-1543)"**, celebre astronomo polacco vissuto molti anni in Italia: Bologna, Ferrara, Padova e Roma, sulla scorta delle osservazioni e delle scoperte del matematico **"Aristarco, di Samo"** (III sec. a.C.) elaborò ed espose il suo celebre **"Sistema Eliocentrico"** nel libro (**De revolutionibus orbium caelestium libri VI**), pubblicato dopo la morte e dedicato al Papa Paolo III.

Egli giunse a provare che il **"Sole"** è **al centro, del Sistema Solare** e che i pianeti, compresa la Terra, girano intorno ad esso, descrivendo orbite circolari.

- Il libro di Copernico segnò una delle svolte essenziali del pensiero. Con esso si aprirono i tempi moderni, non solo per l'Astronomia ma anche per la filosofia.

- Occorre, però, precisare che il pensiero di Copernico e il suo sistema, non hanno il carattere razionale che viene loro attribuito.

Egli pone il **"Sole al centro dell'Universo"**, al centro della **"Sfera delle Stelle fisse"**, ma commette l'errore di **"non considerare il Sole come centro delle orbite planetarie"**; i movimenti dei pianeti esterni, sono da lui riferiti, non già al Sole, fisso, ma al centro dell'orbita terrestre che non coincide con il Sole.

- La "**Teoria Copernicana**" fu sostenuta validamente da Galileo Galilei (1564-1642) e perfezionata dall'astronomo tedesco "**Giovanni Keplero (1571-1630)**".

Galilei, con il suo cannocchiale astronomico, scoprì i "**4 Satelliti maggiori di Giove**" (Io, Europa, Ganimede, Callisto) da lui chiamati "**Pianeti Medicei**", in onore di Cosimo II dei Medici, Granduca di Toscana. Questa ultima scoperta rappresentava una prova della teoria "**Eliocentrica**"; come Giove è circondato dai suoi satelliti, così il Sole è circondato dai suoi pianeti.

g)- **Cosmologia Tyconica del danese TYCHO BRAHE (Tycho)**.

- "**Tycho Brahe**" (1546-1601), il più grande astronomo dell'epoca, "**anticopernicano**" ma "non convinto tolemaico", volendo conciliare i due sistemi, ne immaginò uno nel quale il Sole e la Luna girano intorno alla Terra e i 5 pianeti, ruotano intorno al Sole.

- Costruì un sistema "**geocentrico** che accettava la "**rotazione diurna della Terra**", ma non quella "**annua**" e affermava che tutti i pianeti si muovono, intorno alla Terra, ad eccezione dei pianeti interni, Mercurio e Venere che si muovono intorno al Sole.

- Per sviluppare questa sua ipotesi (Sistema Tyconico), egli prese, come collaboratore, l'austriaco Giovanni Keplero. (1571-1630), al quale, quando morì, lasciò il compito di perfezionare il suo sistema.

- Keplero ha il merito di aver introdotto la "**nuova astronomia**".

- Convinto della validità del sistema copernicano, utilizzò i dati a sua disposizione, per approfondire tale ipotesi. Riuscì ad enunciare le sue famose leggi. La prima di esse è la chiave per scoprire la meccanica dei moti celesti:

- "**Le orbite descritte dai pianeti, non sono circonferenze ma ellissi**".

- Le idee di Keplero si diffusero e vennero convalidate dal più grande scienziato del Rinascimento: Galileo (1564-1642). Keplero e Galileo non ebbero grandi contatti, ma si scrissero spesso per confrontare i loro risultati.

- Dalle leggi di Keplero, l'inglese **Isacco Newton** (1642-1727), mediante ragionamenti e calcoli, dedusse la sua famosa legge sulla "**gravitazione universale**".

Con Copernico, Keplero, Galileo, Newton, l'uomo si è visto detronizzato da "**fulcro dell'Universo**", posto alle dipendenze di un Sole, forse, sperduto anch'esso, nella

Immensità del Cosmo. Lo svizzero "**Albert Einstein**, (1879-1955)", con la sua teoria della relatività aprì la via a nuove ipotesi.

B)- COSMOLOGIA CONTEMPORANEA

- Le fondamentali "**ipotesi cosmologiche moderne** sono cinque:

1- **Ipotesi del Big Bang di Gamow.**

2- **Ipotesi dell'"ambiplasma" o di Alfvén e Klein.**

3- **Ipotesi dell'"Universo Pulsante".**

4- **Ipotesi "Universo Stazionario"**

5- **Nuove concezioni sull'Universo (Relatività di Einstein).**

1- IPOTESI DEL BIG-BANG O TEORIA EVOLUTIVA

(Gamow, Lemaitre)

- Si basa sulla scoperta fatta da Hubble nel 1929 che le Galassie si allontanano l'una dall'altra con velocità tanto maggiore quanto più sono lontane (95000 Km/s). Cioè si può spiegare solo se si ammette che l'Universo è in "**espansione**" (G. Gamow, 1946).

- Un "**primitivo Universo**" (enorme nube cosmica) si sarebbe contratto (sfera densa), surriscaldandosi enormemente, e, circa 20 miliardi di anni fa sarebbe catastroficamente esplosa (Big - Bang), proiettando la materia di cui era composto, in tutte le direzioni (Universo Prestellare, formato da "gas rarefatto e a bassa temperatura").

- In quell'istante furono creati "**la materia e lo spazio**"

- Le masse di gas emesse si raffreddarono e si condensarono, formando, successivamente, i Sistemi Stellari (Galassie e Nubi Cosmiche), che noi oggi vediamo ancora allontanarsi.
- Dalle Galassie e dalle Nubi Cosmiche, per ulteriori suddivisioni, si sarebbero formati gli "**Ammassi Stellari**" e quindi le "**Stelle**".
- Nel 1965 è stata scoperta una "**radiazione di fondo**" che proviene da tutte le direzioni dello Spazio, come se riempisse tutto l'Universo e che corrisponde ad una temperatura di 3°K. Tale radiazione rappresenterebbe quanto resta dell'energia dispersa dall'esplosione primordiale (Radiazione fossile o eco del Big -Bang).

IPOTESI DEL "BIG-BANG" – O DELL'"UNIVERSO PULSANTE" – DELLE TRORIE COSMOLOGICHE

2-IPOTESI DELL' UNIVERSO PULSANTE.

- Semplicisticamente potremmo dire che "l'**Universo Pulsante**" si ottiene da successivi **Big-Bang**:
- Si ipotizza che tra 20 milioni di anni le Galassie rallenteranno e finiranno la loro corsa.
- A quel punto, inizierà una nuova "**contrazione gravitazionale**", le Galassie entreranno in collisione una con l'altra e si fonderanno tra loro dando luogo ad una "**una nuova sfera incandescente**".
- Si avrebbe, allora, un nuovo Big-Bang e il ciclo ricomincerebbe, alternando in tempi lunghissimi una "**espansione**" con una "**contrazione**".

3-IPOTESI DELL'UNIVERSO STAZIONARIO O DELLA CREAZIONE CONTINUA

(Bondi, Gold, Mc Crea, Hoyle)

- Secondo Fred Hoyle il reciproco, allontanamento delle Galassie porterebbe ad una diminuzione della "**densità media**" dell'Universo.
- Tale diminuzione verrebbe compensata da una "**continua creazione**" nello spazio di "**nuova materia**" in quantità
- piccolissima (1 atomo di idrogeno, per Km³ in un anno), la cui aggregazione produrrebbe "**nuove Galassie**" in sostituzione di quelle ormai lontane.
- La "**densità rimane costante**" pur avvenendo l'espansione,
- L'**Universo Stazionario** non è dunque "**statico**". questa teoria presenta, però, poche prove convincenti.

4- I POTESI DELL'"AMBIPLRSMA"

(O di Alfven e Klein)

- Questa teoria tenta di spiegare la causa della grande esplosione del "**Primitivo Universo**".
- Propugnatori di questa teoria furono Hannes Alfven (fisico svedese, fondatore della teoria "**magnetoidrodinamica**" o "**fisica del plasma**" e Oscar Klein (suo collega).
- **N.B.**-Il "**plasma**" è un gas totalmente ionizzato, formato, cioè, di atomi i quali, in seguito ad altissima temperatura, hanno perso completamente le particelle che formano il nucleo.
- L'"**antimateria**", risulta costituita da "**anti -atomi**" che hanno "**elettroni**" nel nucleo e "**protoni**" perifericamente.

-**Secondo Alfven:**

1- Inizialmente l'Universo era costituito da un "**numero uguale di atomi ed anti-atomi**" i quali per la mutua attrazione gravitazionale, cominciarono a spostarsi gli uni contro gli altri formando una immensa nube in via di contrazione.

2- Durante la "**contrazione**" gli atomi e gli anti-atomi vennero a contatto e cominciarono ad "**annullarsi**" trasformarsi in "**pura energia**".

N.B.- Ci si ricordi che la "**materia**" e l'"**antimateria**" quando vengono a contatto si distruggono reciprocamente, generando grandissima quantità di "**energia**".

3- Per questa "annichilazione" il calore della nube, che già stava aumentando, per la "contrazione gravitazionale", "crebbe", perciò la nube stessa cessò di contrarsi e successivamente "esplose con furore", originando, l'"odierno Universo".

4- Durante il "processo di mutua annichilazione, spiega Alfvén, nella regione di contatto tra materia ed antimateria" si sarebbe formato l'"ambioplasma", cioè un "plasma doppio", irraggiante altissime energie, formato da "atomi e anti-atomi", totalmente ionizzati.

IPOSTESI DELL'AMBIOPLASMA O DI ALFVEN E KLEIN

- L'"ambioplasma" tenne distante la regione contenente materia da quella contenente antimateria, permettendo che avesse luogo l'esplosione senza che la "materia e l'anti materia" si trasformassero completamente in "pura energia elettromagnetica".

5-IPOSTESI NUOVE SULL'UNIVERSO

5.1- Teoria della Relatività di Albert Einstein (1879 – 1966)

- Ecco alcune affermazioni che ci interessano:

a)- La luce, nel vuoto, ha "velocità costante".

b)- Nessun corpo in movimento può superare la "velocità della luce".

c)- Nell'Universo, dove tutto si muove e nulla è statico, i "fenomeni sono relativi", alle condizioni in cui sono osservati.

d)- Lo spazio ha "4 dimensioni", non 3, dovendosi aggiungere alle 3 dimensioni classiche, il "tempo".

e)- Una massa, anche minima, è capace di generare "enormi quantità di energia".

f)- L'"energia può mutarsi in materia e viceversa".

N.B. - Le ultime tre asserzioni sono una conseguenza della celebre equazione di Einstein: $E=mc^2$.

Le "Sostanze radioattive" presenti sulla crosta terrestre e le "stelle più antiche" hanno "un'età" che, secondo le moderne teorie si aggira intorno ai "5 miliardi di anni". Secondo la "teoria della Relatività" si ammette oggi che l'Universo, pur espandendosi rapidamente si deve considerare non esteso all'infinito ma racchiuso in se stesso e quindi finito e limitato, la sua dimensione deve avere un raggio di "5 miliardi di anni luce".

-Possiamo infatti supporre che da "5 miliardi di anni" l'Universo abbia cominciato ad espandersi e che il movimento delle Galassie si sia compiuto con la stessa velocità e nella stessa direzione.

-Nello spazio, privo di materia, si aveva la geometria piana euclidea.

-Secondo **Einstein**, invece, nello spazio in cui esiste la materia si realizza la geometria delle superfici curve.

-La materia, come si dice, curva lo spazio. Il problema sulla forma dello spazio, offre 3 possibilità:

1-L'"Universo è euclideo", cioè piano, perciò un segmento di retta rappresenta la minore distanza tra due punti.

2-L'"Universo è incurvato positivamente", cioè ha la forma "convessa", perciò, la distanza più breve tra due punti è data da una "curva chiusa", simile ad un meridiano sul nostro pianeta.

3-L'"Universo è incurvato negativamente", ha, cioè, la "forma concava", come la superficie di una "sella" e, la minor distanza tra due punti è data da una "curva aperta (parabola o iperbole)".

-**N. B.** Rimane, quindi, il "mistero" in tutta la sua cosmica e panica immensità che assilla la mente di quanti sono protesi alla conquista di nuove e lampeggianti conoscenze.

PRINCIPALI UNITA' DI MISURA IN ASTRONOMIA

1-UNITA' ASTRONOMICA (U.A.= Km 149.500.000).

-Corrisponde alla distanza media Terra-Sole.

-Si ottiene dividendo per due la somma della distanza minima più la distanza massima della Terra dal Sole:

$$\text{Km.}147.10^6 + 152.10^6)/2 = \text{Km.}299.10^6/2 = \text{Km}149,5.10^6 \text{ Km.}149.500000''$$

2-ANNO LUCE (a.l.=Km.9.460.800.000=Km.9,4608x10¹²).

-Corrisponde allo spazio percorso dalla luce in un anno.

-Si ottiene moltiplicando il numero di minuti contenuti in un anno per la velocità della luce pari a circa Km. 300.000 al secondo:

$$\text{a.l.}=(60 \times 60 \times 24 \times 365) \times 300.000 = \text{Km.}9.460.800.000.000 = \text{Km.}9,4608 \times 10^{12}$$

3-PAR8EC(=Parallasse secondo = p.c.)

-E'la "**distanza**" dalla quale il "**semiasse maggiore dell'orbita terrestre, osservato perpendicolarmente alla direzione Terra-Sole,e visto sotto l'angolo di un secondo di grado**".

-Corrisponde a 30 trilioni, 857 miliardi, 3 milion 960 mila Km. e quindi a Km. 30.857.003.960.000 e quindi a 3,261.563.849 a.l. pari a circa 3.26 a.l.

MISURA DELLE DISTANZE STELLARI MEDIANTE TRIANCOLAZIONE

(grafico e calcolo)

Distanza Stella –Sole (in Km) = U.A.(Unità Astronomica) x tg (90-b°)

b°=angolo espresso in gradi,che dalla Stella consente di vedere il semiasse maggiore dell'orbita terrestre sotto l'angolo di 1 secondo di grado (1/3600)

- La distanza in questione detta **parsec**, si ottiene calcolando il cateto di un triangolo rettangolo formato dalle congiungenti Terra – Sole - Stella e applicando il noto teorema trigonometrico:

$$\begin{aligned} \text{p.c.}(=\text{ParsecinKm}) &= \text{U.A.} \times \text{tg}[90-(1/(60 \times 60))] &= \\ &= 149.500.000 \times \text{tg}[90-(1/3600)] &= \\ &= 149500000 \times \text{tg}(90-0,0002777778) &= \\ &= 149.500.000 \times \text{tg}(90-0,0002777778) &= \\ &= 149.500.000 \times \text{tg} 89,99972222 &= \\ &= 149500000 \times 206263.39080 &= \\ &= 3,083638.10^{+13} \text{ Km.} \end{aligned}$$

- La distanza espressa in **anni luce (=a.l.)** di un **parsec (=p.c.)= 3,26 a.l.** si calcola nel seguente modo:

$$\text{a.l.} = \text{p.c.}(\text{in Km})/1\text{a.l.}(\text{in Km}) = 3,083638.10^{+13}/9,4608.10^{+12} = 3,259383984(\text{circa}) = \underline{\underline{3,26 \text{ a.l.}}}$$

-**Mu1tipli del parsec sono:**

***Chiloparsec** = 1000 parsec.

***Megaparsec** = 1.000.000 di parsec.

***Eone** = un miliardo di anni luce = 1.000.000.000 a.l.

ORIGINE DELLE GRLASSIE E DELLE STELLE

ORIGINE DELLE GALASSIE

- L'**Universo** ha avuto origine dalla "**hube cosmica primitiva**" concentrata a formare una sfera dotata di notevolissime quantità di calore, detta anche "**atomo primordiale**" contenente tutta la materia e l'energia dell'Universo e formata da "**radiazioni**", da "**gas caldo**" e da grandissima "**densità**".

- L' "**esplosione**" di cui non conosciamo il meccanismo d'innescò, proiettò materia ed energia in tutte le direzioni dello spazio, con progressivo aumento di volume del- l'Universo, diminuzione della densità e della temperatura nel corso del tempo.

-Si ritiene che alcune condizioni fondamentali per l'esistenza della materia (formazione di nuclei stabili di idrogeno ed elio) si siano determinate entro tempi

brevissimi e però soltanto quando la temperatura si abbassò a valori di qualche migliaio di gradi gli elettroni liberi poterono combinarsi con i nuclei. Iniziò così il cammino di quella radiazione che alterata dal tempo e dallo spazio percorso, noi conosciamo ora come "**radiazione cosmica di fondo**".

—Ad un certo momento, nonostante l'energia radiante si opponga ai tentativi di aggregazione della materia, sciami immensi d'idrogeno dovettero concentrarsi in ammassi progressivamente isolandosi dall'omogenea e meno densa materia nella quale erano immersi.

- Dopo alcune centinaia di milioni di anni queste "PROTOGALASSIE" rimasero isolate e subirono soltanto la loro stessa forza gravitazionale dando origine alle "GALASSIE", poi alle "STELLE", e la materia, **stelle comprese**, assunse una disposizione ordinata quale noi oggi osserviamo.
- La vita delle Galassie fu punteggiata dall'esplosione delle "QUASAR" e, tuttora scossa ogni tanto da qualche esplosione delle "NOVAE" e delle "SUPERNOVAE".
- Ad un certo momento (miliardi di anni fa) mentre comparvero nelle braccia delle spirali gli elementi pesanti, nacquero nuove stelle sul tipo del "SOLE" della nostra Galassia. Da allora ebbe inizio anche la nostra storia.

COSA SONO LE GALASSIE

- Fino al 1920, cioè finché non divenne operativo il "telescopio da m.5 di Monte Wilson, le GALASSIE erano viste come ammassi di gas ed erano chiamate "NEBULOSE". Quel telescopio ci permise di renderci conto che, molte di quelle "nebulose" erano risolvibili perché costituite da "enorme quantità di stelle e materia interstellare".
- Queste enormi quantità di stelle dette "GALASSIE", con termine un po' ricercato, vengono anche chiamate "**universi isola**" per sottolineare gli immensi spazi vuoti ed invalicabili che si trovano tra una Galassia e l'altra.

COMPONENTI DELLE GALASSIE

- Componenti fondamentali di queste Galassie sono:
- **Ammassi Globulari**: piccole nebulose sferoidali.
- **Polvere Cosmica**: dalla quale nascono le stelle.
- **Quasar**: corpi celesti luminosissimi che funzionano da "radio sorgenti". Vengono interpretati come "nubi di idrogeno," o come "resti di stelle esplose".
- **Pulsar**: particolari stelle a neutroni.
- **Sorgenti di raggi X**.
- **Buchi Neri**: oggetti celesti poco noti e così detti perché non emettono luce.(Implodono materia ed energia).
- **Buchi Bianchi**: inverso degli altri. (Esplodono energia).
- **Nebulose luminose**: formate da immense nubi di gas estremamente rarefatti che "emettono luce".
- **Nebulose oscure**: sono costituite da nubi di gas e polveri che appaiono come oggetti oscuri sullo sfondo del cielo.
- **Stelle, Stelle binarie, Stelle Variabili.**
- **Novae e Supernovae**: sono resti di Stelle esplose.
- **Pianeti.**
- **Comete.**

SUDDIVISIONE DELLE GALASSIE

- Vi sono galassie piccolissime con diametro di 1500 anni luce, dette "GALASSIE NANE" e galassie enormi, aventi un diametro di 80°.000 anni luce dette "GALASSIE GIGANTI".

- CLASSIFICAZIONE DELLE GALASSIE

- secondo, la classificazione corrente, che risale a E.P. Hubble, le galassie, secondo la loro forma, comprendono tre grandi gruppi:

1- "**Galassie a Spirale**": Si dividono, in:

- a)- "**Galassie a Spirale Normale (S)**": Hanno braccia a spirale, molta polvere cosmica, Stelle Giganti azzurre giovani.

b)- "**Galassie a Spirale barrata (SB)**": Una barra luminosa attraversa il nucleo e al termine di essa, partono braccia a spirale. La Barra sembra sia dovuta alla esistenza di "**forte campo magnetico**", che orienta le stelle.

2- "**Galassie Ellittiche(E)**": senza braccia, con piccole quantità di polvere cosmica e stelle rosse vecchie. Non mostrano spire e altre particolarità.

3- "**Galassie Irregolari**": che sono di norma, più piccole delle altre.

N.B.- a)- La maggior parte delle "**Galassie note**" sono "**Galassie a Spirale**" (circa il 78%), seguono le "**Galassie Ellittiche**" (18%) e poi le "**Galassie Irregolari**" (4%).

b)- Le "**sigle**" che indicano le Galassie e gli altri Oggetti celesti sono riferiti ad alcuni importanti Cataloghi Stellari:

- **M=Catalogo Messier**: Esempio **M31** = 31° oggetto del catalogo Messier.
- **NGC**=New General Catalogue.
- **CP**=Catalogo di Cambridge per le Pulsar.
- **3CP**=3° Catalogo di Cambridge per i Quasar.

DISPOSIZIONE DELLE GALASSIE

- Le Galassie non sono distribuite nello spazio a noi vicino in modo "**uniforme**" ma formano gruppi più o meno numerosi, chiamati "**Ammassi**" che possono arrivare a contenere migliaia di Galassie come quello visibile nella direzione della Costellazione de 11 a "**Chioma di Berenice**". La nostra Galassia la "**Via Lattea**" appartiene ad un ammasso detto "**Gruppo Locale**", relativamente piccolo e che occupa uno spazio di 8 milioni di anni luce di diametro. In esso sono compresi tre grandi Galassie a Spirale: la **Via Lattea**, **Andromeda**, **la Galassia del Triangolo** e 24 altre Galassie più piccole di cui 4 sono **irregolari** e le altre **Ellittiche**. Le più note tra queste sono: la **Grande Nube di Magellano** e la **Piccola Nube di Magellano**.

- AGGIORNAMENTI AULLE GALASSIE

-In questi anni gli astronomi stanno cercando di analizzare se gli "**Ammassi**", come sembrerebbe in qualche caso, non siano riuniti in gruppi ancora maggiori chiamati "**Super-ammassi**" e se gli eventuali Superammassi non siano distribuiti nello spazio con una qualche regolarità mostrando perciò una struttura non causale nella distribuzione della materia nell'Universo.

-Le "**Galassie**" non emettono soltanto "**luce visibile**" ma "**splendono**" anche e talora di più, in altre regioni dello "**spettro elettromagnetico**". Le osservazioni recenti nel settore delle "**onde radio, dell'infrarosso, dell'ultravioletto** e dei **raggi X**" hanno aumentato di molto le nostre conoscenze circa le Galassie e fatto scoprire oggetti celesti di cui prima si ignorava l'esistenza. Spesso, infatti, a delle Galassie visibili sono associate "**Radio - galassie**" di dimensioni molto maggiori.

-Sono stati scoperti "**enormi getti di materiale**" uscenti dal nucleo di alcune galassie; "**ponti di materia**" tra una galassia ed un'altra; galassie dal cui nucleo, che è circondato da gas in rapido movimento, viene emessa una quantità di "**energia spaventosa**", decine di migliaia di volte superiore a quella emessa dal "**nucleo della Via lattea**"; Galassie che funzionano da "**lenti gravitazionali**" che sdoppiano l'immagine di oggetti celesti posti dietro a loro. E' chiaro che siamo appena agli inizi della strada che porta alla comprensione dei fenomeni che stanno alla base di quanto si osserva.

ORIGINE DELLE STELLE

A)- Principi fondamentali

-La teoria della **STRUTTURA** e dell'**EVOLUZIONE STELLARE** parte da alcune ipotesi:

Aa-La **FORMAZIONE** delle stelle comincia dalla **MATERIA STELLARE**.

Ab-Le **STELLE** sono **MASSE GASSOSE** che mantengono **TEMPERATURE MOLTO ALTE** a partire dalle **PROPRIE FONTI DI ENERGIA**.

Ac-Nell'interno delle **STELLE** avvengono diversi processi (questa è la **CAUSA PRINCIPALE** dei loro **CAMBIAMENTI**).

Ad-Le **TRASFORMAZIONI** rapide e radicali del loro stato sono il risultato, dell'accumularsi di **CAMBIRIMENTI PIU' LENTI** e di minor entità

Ae-Il **COMPORAMENTO DELLA MATERIA** così come le sue **TRASFORMAZIONI** sono retti dalle stesse leggi oggettive in qualunque punto dell'Universo e in qualunque epoca.

B) -FORMAZIONE DELLE STELLE:

Ba-La **FORMAZIONE** delle Stelle inizia dal **GAS** e dalle **POLVERI STELLARI**, nei **GLOBULI DI BOK** (si pensa) e per opera di vibrazioni provenienti dall'esplosione di **SUPER-NOVAE**.

Bb-Questa **AFFERMAZIONE** è convalidata da un gran numero di osservazioni che mostrano come gli **OGGETTI PIU' GIOVANI** si incontrino in zone dove la **DENSITA'** di questa materia è particolarmente **ELEVATA**. Il processo, particolareggiato che va dalla **CONDENSIZIONE** di una **Nube** fino alla **FORMAZIONE** di una **Stella** presenta molte incognite.

Bc-Se una **MASSA PARTICOLARMENTE ISOLATA** non è sottoposta a nessuna azione esterna apprezzabile e se è **SUFFICIENTEMENTE DILUITA**, a **BASSA TEMPERATURA**, e non **GIRA** con molta rapidità, la "**forza principale**" che in essa si stabilisce è l'**ATTRAZIONE** reciproca delle particelle che la formano.

Bd-Questa attrazione riceve il nome di "**gravitazione**". L'**"attrazione gravitazionale"** che determina la formazione delle Stelle, mantiene poi la "**coesione**" ed è il fattore determinante dell'**"evoluzione"**.

Be-Le **PARTICELLE** di una nube di gas, sono sempre in **MOVIMENTO**, tanto più rapido quanto maggiore è la **TEMPERATURA**. Questo "**movimento**" è una forma di "**energia**", denominata **ENERGIA INTERNA** della Nube e "**tende a disperdere questa ultima**".

Bf-L'**ATTRAZIONE GRAVITAZIONALE** tra le particelle tende, invece, a mantenerle unite e a condensare la nube. Per "**disso1verla**" occorre "**energia**". Quella necessaria per "**disperdere**" completamente la nube si chiama **ENERGIA POTENZIALE ANTIGRAVITAZIONALE**.

Bg-Perché la **NUBE SI CONDENSI**, giungendo alla **FORMAZIONE DI UNA STELLA**, occorre che l'**ENERGIA INTERNA** sia "**inferiore**" a quella occorrente per la dispersione, condizione che riceve il nome di "**CRITERIO DI JEANS**". Una Nube di **GAS E POLVERE** che si trova in questa condizione, una volta abbandonata alla sua propria **GRAVITAZIONE**, si contrarrà indefinitamente.

Bh-Il **PROCESSO DI FORMAZIONE DELLE STELLE** consiste nel passaggio di una nube di **MATERIA STELLARE** ad un **OGGETTO LUMINOSO** che nel "**diagramma di HERTZSPRUNG-RUSSEL o, H-R**" si troverà situato nella **SEQUENZA PRINCIPALE**, primo risultato, della condensazione della Nube.

Bi-Consideriamo le varie **FASI**:

-Fase della condensazione:

- Perché questa si produca, la Nube deve soddisfare al **CRITERIO DI JEANS**.

- La **TEMPERATURA** delle **NUBI STELLARI** è **MOLTO BASSA** ($273^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{K}$).

- La **DENSITA'** è molto **PICCOLA**, di pochi **ATOMI** per cm^3 . In queste condizioni il **CRITERIO DI JEANS** impone, perché la condensazione abbia luogo, una **MASSA** mille volte superiore a quella del Sole (circa $2.00.10^{33}$ masse).

Poiché le Nubi hanno tale **MASSA**, e certamente nessuna Stella la possiede, né potrebbe possederla, poiché esploderebbe subito dopo la formazione.

Com'è possibile, allora, che si formino le Stelle?

Da un lato ciò si deve al fatto che esistono dei **MECCANISMI ESTERNI** alla Nube, che la comprimono e ne aumentano la **DENSITA'**, di modo che essa può contrarsi, quantunque la **MASSA**

SIA MINORE di quella richiesta dal **CRITERIO DI JEANS**; dall'altra, al contrarsi, la **NUBE SI FRAMMENTA** in parti più piccole che originano le **PROTOSTELLE**.

In questo modo la Nube iniziale dà luogo non ad una Stella, ma a tutto un **AMMASSO STELLARE**.

B1- I meccanismi di compressione delle Nubi sono:

-**URTI TRA NUBI**: in seguito a questi le Nubi si compenetrano con un aumento della massa complessiva e della densità

-**OSCILLAZIONE DELLA DENSITA' DELLE STELLE** (in particolari zone della Galassia)

che provocano **ONDATE** nella materia interstellare, con effetti uguali a quelli descritti sopra (Ba).

-**SEPARAZIONE DI GAS FREDDI E CALDI** (instabilità termiche).

Una volta soddisfatte le condizioni per le quali la **GRAVITA'** supera le forze che tendono a dissipare la Nube, questa si contrae progressivamente.

-E' iniziato il COLLASSO.

Bn- Precedentemente, grazie ai calcolatori elettronici si è potuto iniziare a calcolare l'evoluzione del collasso ossia come variano le condizioni fisiche all'interno della Nube durante il processo di contrazione.

- La **DENSITA'** "aumenta progressivamente" ma fino a quando non si raggiungono i **100 ATOMI DI GAS PER CENTIMETRO CUBICO**, la Nube lascia passare ogni tipo di radiazione, sia quella che proviene dall'esterno che quella originata nel suo interno.

- La prima contribuisce a **RISCALDARLA**; l'uscita della seconda a **RAFFREDDARLA**. Il bilancio è tale che la temperatura diminuisce all'aumentare della densità.

- A partire da questo momento (quando la **DENSITA'** è di circa **1000 ATOMI** per centimetro cubico) la Nube non lascia passare la radiazione che proviene dall'esterno. L'unica causa del **RISCALDAMENTO** è la contrazione del gas, che comprimendosi si **RISCALDA**. La Nube contiene anche **GRANI DI POLVERE** che raffreddano il gas poiché stanno in contatto con quello e, siccome si riscaldano, emettono il calore ricevuto in forma di **RADIAZIONE INFRAROSSA**, e in questa forma il calore può **USCIRE DALLA NUBE**.

- Il risultato è che la temperatura continua ad abbassarsi; passa da -263°C quando la densità è di 20000 ATOMI per cm^3 a -268°C quando c'è una densità di 1 MILIONE DI ATOMI per cm^3 (La densità di un metallo come il ferro, in condizioni normali, è superiore ai MILLE TRILIONI DI ATOMI per cm^3).

— A partire da questo punto, ritorna a **CRESCERE**: -261°C con CENTO MILIARDI DI ATOMI per cm^3 .

- L'aumento di temperatura si deve al fatto che la Nube **NON LASCIA USCIRE LIBERAMENTE LA RADIAZIONE** che si produce nel suo interno; si dice che è **OPACA ALLA RADIAZIONE INFRAROSSA DEI GRANI**.

-

C)- PROTOSTELLE

Ca- La **CONDENSAZIONE** delle Nubi di materia interstellare per effetto della propria **GRAVITA'** si produce in principio senza che nessuna forza si opponga ad essa (ed è quella che si chiama caduta libera).

Cb- Il risultato è che la materia, si concentra molto di più verso il centro che nel resto della Nube. Questa **ZONA CENTRALE** è la prima a diventare **OPACA** e a **RISCALDARSI**.

Cc- Come succede in ogni gas, appare una **PRESSIONE** che tende a frenare la caduta della materia verso il centro, ed a rallentare la **CONCENTRAZIONE**.

Cd- Ad un certo momento la **PRESSIONE** e l'**ATTRAZIONE GRAVITAZIONALE** quasi si equivalgono; nella zona in cui ciò si produce cessa, praticamente, la **CONTRAZIONE** (in realtà continua ma con **MOLTA LENTEZZA**). Appare allora un **NUCLEO DENSO** e quasi stabile, che costituisce la **PROTO—STELLA** o **EMBRIONE STELLARE**, su cui continua a cadere la materia più rarefatta.

Ce- La **PIOGGIA** di materia sulla superficie della **PROTOSTELLA** fa aumentare la **TEMPERATURA** di quest'ultima; il fenomeno è simile a quello che ha luogo quando lasciano cadere al suolo una palla di piombo da un'altezza sufficientemente elevata; la **PALLA SI SCHIACCIA E SI RISCALDA**.

Cf- Per un certo tempo la **RADIAZIONE** emessa dalla stella ha la sua origine in questo processo.

Cg- La **TEMPERATURA** della superficie della **PROTOSTELLA** è elevata ma la **RADIAZIONE** che arriva fino a noi è **RELATIVAMENTE BASSA** (= radiazione **INFRAROSSA**).

Ch- Ciò si deve al fatto che non la riceviamo direttamente ma, prima di arrivare a noi, è stata **ASSORBITA e RIEMESSA** dalla nebulosità, **MOLTO** più **FREDDA** che circonda la **PROTOSTELLA**.

Ci- Questa **NEBULOSITA'** diviene più tenue e perciò più trasparente. A sua volta, il **CALORE PRODOTTO DALLA CADUTA** diminuisce. Il nucleo caldo appare come una **STELLA ROSSICCA**, di grande diametro, nella sua **PRIMA FASE DI VITA**.

D)-ASSOCIAZIONI STELLARI

Da- Cosa ci autorizza a pensare che la formazione delle Stelle cominci effettivamente dalla **MATERIA INTERSTELLARE** e che il processo di condensazione di una Nube provochi la **NASCITA** quasi simultanea di un numero rilevante di Stelle?

Db- Cominciamo intanto a considerare che le Stelle di **GRANDE LUMINOSITA'** (rappresentate nella parte superiore del **DIAGRAMMA DI HR**) hanno una evoluzione **MOLTO RAPIDA** e una vita **MOLTO BREVE** (nell'ordine del **MILIONE DI ANNI**).

Dc- Le Stelle attribuibili a questo tipo si sono, dunque, formate tutt'al più **UN MILIONE DI ANNI FA'** e ciò dimostra che il processo di formazione delle Stelle continua ancora in quanto non c'è alcun motivo per credere che si sia arrestato da qualche **CENTINAIO DI MIGLIAIA DI ANNI**.

Dd- D'altra parte si è visto che queste Stelle di **GRANDE LUMINOSITA'** sono ancora immerse dentro le Nubi di polvere e di gas tanto più facilmente riconoscibili in quanto sono rese **LUMINESCENTI** dai **RAGGI ULTRAVIOLETTI** emessi dalle Stelle medesime.

De- Inoltre queste Stelle non sono distribuite a caso nella **GALASSIA** ma formano delle **ASSOCIAZIONI STELLARI**.

Df- Le **ASSOCIAZIONI STELLARI** sono **INSIEME DI STELLE** dello stesso tipo, concentrate in regioni relativamente piccole della **GALASSIA**.

Dg- Si differenziano, dagli **AMMASSI STELLARI** perché in esse la densità media delle Stelle è necessariamente maggiore di quella media della **GALASSIA**.

Dh- La loro esistenza fu segnalata dall'astrofisico **AMBARTSUMIAN** durante gli anni 50.

Di- Infine il fatto che si siano visti **GLOBULI OSCURI** (Globuli di Bok) emettere **RAGGI INFRAROSSI** in varie zone della **GALASSIA** fa pensare che delle **PROTOSTELLE** siano in corso di formazione in regioni con **NUBI DENSE DI GAS E POLVERI**.

E)-SISTEMI MULTIPLI - STELLE DOPPIE - SISTEMI PLANETARI

Ea- Le **NUBI INTERSTELLARI** si muovono le une rispetto alle altre e rispetto alle Stelle, ruotando intorno a **SE STESSI** più o meno rapidamente. Di conseguenza si ha **FORZA** (=forza centrifuga) perpendicolare all'asse di rotazione che si oppone alla **GRAVITA'** (cioè alla caduta verso il centro della Nube) e può arrivare a **SCINDERE** la Nube.

Eb- Con il procedere della **CONDENSAZIONE** molte **PROTOSTELLE** si **FRAMMENTANO**. Così si formano sistemi multipli di due o più Stelle che **GIRANO** intorno ad un **CENTRO COMUNE** e rimangono legati dalla mutua attrazione gravitazionale. Alcuni sono instabili e si dissolvono.

Ec- Più frequenti sono i **SISTEMI DOPPI**; in essi la Stella di **MASSA MAGGIORE** si chiama primaria e la più piccola **SECONDARIA**.

Ed- Quasi la metà delle Stelle della nostra Galassia fanno parte di **SISTEMI DOPPI**, che forniscono molti dati sulla struttura delle stesse Stelle; permettono, in molti casi, di determinare la **MASSA** di quelle, l'influenza della attrazione di una Stella sulla struttura dell'altra, e così via.

Ee- Talora una delle **STELLE** della **COPPIA** è praticamente **INVISIBILE** e può essere scoperta solo dagli effetti che provoca sull'**ORBITA** dell'altra. Questi elementi hanno permesso alcune delle più interessanti scoperte degli ultimi anni.

Ef- A volte la forza centrifuga **NON PROVOCA** la frammentazione in due o più Stelle, ma da origine ad una specie di **DISCO** molto appiattito e con una concentrazione centrale, animato da movimenti di rotazione.

Le **DISOMOGENEITA'** del disco possono determinare **INSTABILITA'** che portano la materia a condensarsi in primo luogo nel **CENTRO**, in secondo luogo in vari corpi che girano in orbite attorno al nucleo centrale.

Quest'ultimo darà luogo ad una **STELLA**; gli altri di minor grandezza ad un **SISTEMA PLANETARIO**.

Eg- Che la condensazione della materia dia origine ad una **STELLA** o ad un **PIANETA**, dipende solo dalla **MASSA COINVOLTA**; per esempio, se **GIOVE** avesse avuto una **MASSA** un poco più **GRANDE**, avrebbe potuto produrre nel suo interno un'**ENERGIA** sufficiente a mantenere una **LUMINOSITA'** propria; ed il **SISTEMA SOLARE** sarebbe stato una **STELLA DOPPIA**.

F)-ORIGINE DELLA LUMINOSITA' DELLE STELLE

Fa- Le **STELLE** emettono **LUCE**: questa è la caratteristica che ce le ha fatte conoscere.

Fb- I mezzi più moderni di osservazione ci hanno poi fatto sapere che esse emettono anche **RADIAZIONI** di tutte le lunghezze d'onda (**ONDE RADIO-RAGGI INFRAROSSI E ULTRAVIOLETTI -LUCE E RIFLESSI**) e particelle di diverse energie.

Fc- Al contrario di ogni sorgente che si esaurisce e di ogni luce che a poco a poco impallidisce e si estingue, le **STELLE** sembrano **IMMUTABILI**: la loro **LUMINOSITA'** e il loro **COLORE** rimangono immutati nei secoli; ciò unito alla immutabilità della loro **POSIZIONE**, portò i filosofi dell'antichità a supporre che le **STELLE** appartenessero ad una **SFERA** superiore, opposta per sua natura al **MONDO SUBLUNARE** o **SFERA DEI CAMBIAMENTI** e della **CORRUZIONE**.

Di conseguenza, verso la metà del **2° SECOLO DOPO CRISTO**, l'osservazione di una **NOVA** (Stella che in pochi giorni aumenta la sua luminosità di **VARIE MAGNITUDINI**) suscitò vivaci polemiche appena ci si rese conto che cambiamenti possono avvenire anche nelle **SFERE** superiori.

Fd- In pieno **SECOLO 20°** la luminosità costante delle Stelle continua a suscitare perplessità; tanto più che alcuni dati forniti dalla **PALEONTOLOGIA** indicano che più di **UN MILIARDO** di anni fa la luminosità del Sole doveva essere la stessa di oggi.

Infatti questa è l'età di alcune **ALGHE MARINE FOSSILI** che non potrebbero essere esistite se la temperatura media della Terra fosse differente da quella attuale di solo **20°C**.

Fe- **EMETTERE LUCE** o qualunque altro tipo di **RADIAZIONE** significa perdere **ENERGIA**. considerata una grande **SFERA DI GAS**

C'è da documentarsi, perciò, come possa mantenersi costante per più di **UN MILIARDO DI ANNI** la luminosità del **SOLE**.

Il problema è lo stesso, anche per le altre **STELLE**, fra le quali il Sole è la meglio conosciuta.

Nella seconda metà del secolo 19°, **KELVIN** e **HOLMHOLTZ** fornirono una prima spiegazione, sia pure insufficiente, sul processo per cui una grande massa di gas può **DISSIPARE ENERGIA** per lungo tempo.

Ff- Considerata una grande **SFERA DI GAS** quasi in equilibrio e soggetta solo all'**ATTRAZIONE GRAVITAZIONALE** che esercitano tra loro le particelle sue componenti questa tenderà a **CONTRARSI** e a **COLLASSARE**. Le particelle del gas (**ATOMI** e **MOLECOLE**) **CADONO VERSO IL CENTRO** e nel cadere acquistano una velocità sempre maggiore.

Poiché, nello stesso tempo ogni particella **URTA** con molte altre, la caduta si traduce in un **AUMENTO GENERALE DELLA VELOCITA'** in tutte le direzioni.

Questo vuol dire che la **TEMPERATURA E LA PRESSIONE DEL GAS AUMENTANO** e ciò, a sua volta, **FRENA** la caduta. Allora si dice in termini fisici, che l' **ENERGIA POTENZIALE GRAVITAZIONALE** si è trasformata in **ENERGIA INTERNA DELLA STELLA**.

Se si calcola la relazione tra l' **ENERGIA GRAVITAZIONALE**, consumata nel processo di **CONTRAZIONE** e l'aumento, di **ENERGIA** corrispondente al riscaldamento dell' interno della Stella si osserva che quest'ultimo è solo **META'** della prima.

L'altra **META'** dell'**ENERGIA GRAVITAZIONALE** è sfuggita alla Stella, **EMESSA VERSO LO SPAZIO ESTERNO**.

La **QUANTITA' DI ENERGIA**, per unità di tempo, definisce esattamente la **LUMINOSITA'**.

Fg- Cosa determina la maggiore o minore rapidità di questa emissione, cioè la **LUMINOSITA'?**

La radiazione proviene da tutti i punti della Stella, soprattutto, dalle zone dove la concentrazione di materia è maggiore; cioè dalle **ZONE** più **DENSE** e perciò più profonde il fattore determinante è, poi, la **VELOCITA'** con cui questa radiazione, proveniente dall' interno., raggiunge la superficie della Stella.

Si potrebbe pensare che la radiazione prodotta nel **CENTRO della Stella** per esempio raggiunga la superficie propagandosi con la velocità della luce nel vuoto (**300000 Km/sec.**).

Non è così. Un **FOTONE** (particella portatrice di **ENERGIA RAGGIANTE**) proveniente dal centro, prima di giungere alla superficie è **ASSORBITO e RIEMESSO** un'infinità di volte da gli atomi di gas che incontra sul suo cammino.

Fra ogni **ASSORBIMENTO** e la successiva **RIEMISSIONE** intercorre un certo intervallo di tempo.

Per una Stella, come il Sole, il tempo. totale, relativo a tutto il percorso, è dell'ordine di **UN MILIONE DI ANNI**.

Vuol dire che se in un determinato istante, la parte centrale della Stella cessa di emettere luce, il fatto. potrà rilevarsi sulla superficie solo alla fine del tempo totale, sopra accennato.

La rapidità con la quale la **LUCE** attraversa il materiale della Stella è inversamente proporzionale all'**OPACITA'** dello stesso.

Così possiamo iniziare a capire perché un astro possa emettere luce. La sua **GRAVITAZIONE** provoca la sua **CONTRAZIONE**, il che, a sua volta, determina un **AUMENTO DI TEMPERATURA** all'interno e l'**EMISSIONE DI ENERGIA** in forma di radiazione.

La Stella si **CONTRA** e si **RISCALDA** sempre più (malgrado la continua perdita di energia). La **VELOCITA' DI CONTRAZIONE** viene determinata dalla **OPACITA' DEL GAS** di cui è formata la Stella, poiché la metà dell' energia gravitazionale svolta nel processo, deve uscire dall' astro in forma di **RADIAZIONE** e perciò deve attraversare un certo spessore dello stesso.

Fh- Si capisce così come un oggetto di **GRANDE MASSA** qual'è il Sole (**198000 quadrilioni di tonnellate circa**) possa emettere una grande quantità di luce per tanto tempo.

Poiché è facile calcolare qual'è la sua energia gravitazionale, se dividiamo questa per l' energia irradiante, per unità di tempo, avremo la durata massima di questa sorgente di energia, supponendo. che l' energia fluisca sempre al ritmo attuale.

Il risultato, **TRENTA MILIONI DI ANNI**, è una frazione molto. piccola se confrontata al **MILIARDO DI ANNI** e più di **LUMINOSITA' SOLARE** quasi costante che i dati paleontologici fanno supporre siano trascorsi.

Non era quindi la **LUMINOSITA'** delle Stelle il problema più g rosso e più importante negli anni successivi al 1930 ma la loro straordinaria costanza e la loro **LONGEVITA'**.

G)-REAZIONI TERMONUCLEARI E LUMINOSITA'

Ga-Origine della teoria:

Solo con i lavori di **BHETE** e di **VON WEIZSACHER** nel 1937, si cominciò a disporre di una soddisfacente teoria sui processi che mantengono le Stelle come **OGGETTI LUMINOSI** per **MILIARDI DI ANNI**.

Questi processi sono le **REAZIONI TERMONUCLEARI DI FUSIONE** tra i diversi elementi chimici (= **NUCLEI LEGGERI** che si uniscono per dare **NUCLEI PIU' PESANTI**).

Gb- Struttura della materia

Gli **ATOMI** sono i costituenti fondamentali della materia; ad ogni elemento chimico corrisponde un tipo determinato che differisce dagli altri elementi per la sua **MASSA** e per la sua **STRUTTURA**.

Le combinazioni tra atomi danno origine alle **MOLECOLE**. In ogni **ATOMO** si possono distinguere una parte esterna, o **INVOLUCRO**, formata da **ELETTRONI** (con **CARICA NEGATIVA** e **MASSA MOLTO PICCOLA**) ed un **NUCLEO**, a carica **POSITIVA** in cui si concentra quasi tutta la **MASSA** dell' **ATOMO**.

Gc- Nuclei atomici e processi di fusione.

Se due **NUCLEI ATOMICI** si avvicinano fino a giungere a poca distanza, subiscono una **FORZA DI REPULSIONE** che tende a separarli. Ciò si deve al fatto che ambedue possiedono cariche elettriche dello **STESSO SEGNO** (= positivo).

Nell'interno di una Stella i **NUCLEI ATOMICI** si muovono a **GRANDE VELOCITA'** urtandosi tra loro spesso e violentemente.

La maggior parte di questi **URTI** fa **RIMBALZARE I NUCLEI**; la forza di **REPULSIONE ELETTROSTATICA** li frena a misura che si avvicinano, obbligandoli a **RESPINGERSI** con la stessa **ENERGIA** che li aveva avvicinati.

I **NUCLEI ATOMICI** sono formati da due tipi di particelle: **PROTONI** e **NEUTRONI** (i primi a **CARICA ELETTRICA POSITIVA**, i secondi **SENZA CARICA** {le loro **MASSE** sono sensibilmente **UGUALI** e praticamente coincidono con quella dell'atomo di **IDROGENO**).

Tra queste particelle fanno sentire i loro effetti le forze di **ATTRAZIONE** a breve raggio di azione, che mantengono la **COESIONE** del nucleo (**FORZE NUCLEARI**) . Esse sono apprezzabili solo quando le particelle sono molto vicine e in ciò differiscono, dalle forze **ELETTROSTATICHE** che agiscono a qualunque distanza. Però non c'è dubbio che a brevissima distanza, le **FORZE DI ATTRAZIONE NUCLEARE** sono più intense di quelle **ELETTROSTATICHE**.

Perciò se **DUE NUCLEI** saranno abbastanza vicini, domineranno, le loro forze di attrazione tra i **PROTONI** e i **NEUTRONI** di ambedue i nuclei e si produrrà una **REAZIONE NUCLEARE DI FUSIONE**, con la formazione di una nuova combinazione di **PROTONI**, cioè di un nuovo nucleo atomico .

Se nel processo non è andato perduto nessun **PROTONE** o **NEUTRONE**, ma la **MASSA** del **NUOVO NUCLEO** sarà approssimativamente uguale alla somma delle **MASSE** dei due **NUCLEI ADIACENTI**.

Le **REAZIONI DI FUSIONE** sintetizzano **NUCLEI più PESANTI** di quelli originari.

Nelle **REAZIONI DI FUSIONE**, l'unione di due nuclei ne forma un altro più compatto, più stretto e nel processo si **DISSIPA ENERGIA**, in questo caso, **ENERGIA NUCLEARE**. Ciò si deve al fatto che la **MASSA** del nuovo nucleo è quasi sempre un po' minore della somma delle **MASSE** dei due nuclei che hanno reagito. .

Questo **DIFETTO DI MASSA** si è trasformato in **ENERGIA**, secondo la **NOTA FORMULA DI HEINSTEIN: $E=mc^2$** (**1' ENERGIA LIBERATA E' UGUALE ALLA MASSA PER IL QUADRATO DELLA VELOCITA' DELLA LUCE**) .

Tali reazioni ricevono il nome **TERMO-NUCLEARI**, perché l' energia necessaria affinché i nuclei si avvicinino sufficientemente, vincendo la **REPULSIONE ELETTROSTATICA** proviene dall'agitazione delle particelle del gas, cioè. dall' **ENERGIA TERMICA** di esso, proporzionalmente alla sua temperatura. La rapidità con la quale si produce una reazione **TERMONUCLEARE** è in funzione diretta della **DENSITA' DEL GAS** e, soprattutto, della **TEMPERATURA**.

Le riserve di **ENERGIA NUCLEARE** di una Stella sono sufficienti per mantenere costante la sua **LUMINOSITA'** per un periodo dell'ordine di quelli indicati precedentemente.

Prendiamo come riferimento il **SOLE** e supponiamo che sia completamente formato da **IDROGENO**.

Nella trasformazione di **QUATTRO NUCLEI DI IDROGENO** in un nucleo di **ELIO (He)** si perdono 4/1000 della **MASSA INIZIALE** degli elementi reagenti. Se tutto l'**H** del Sole si trasformasse in **He (ELIO)**, si produrrebbe in questo processo una quantità totale di **ENERGIA** che permetterebbe al Sole di mantenere la sua **LUMINOSITA'** attuale per un periodo di **DIECI MILIARDI DI ANNI**, più che sufficiente per garantire la costanza della temperatura sulla superficie della Terra dalle prime ore geologiche.

Le Stelle, una volta formatesi, come si è visto, dalle **NUBI DI MATERIA INTERSTELLARE**, continuano a contrarsi per qualche **MILIONE DI ANNI**.

Nello stesso tempo aumenta la temperatura nel loro interno.

Quando questa ha raggiunto un certo grado cominciano le **REAZIONI TERMO-NUCLEARI** che frenano la contrazione quasi completamente e mantengono la **LUMINOSITÀ** al medesimo livello per **MILIARDI DI ANNI**.

All cessare delle reazioni la contrazione prosegue fino alle ultime fasi della vita della Stella.

I tempi indicati corrispondono a Stelle di **MASSA** simile a quella del Sole.

Per quelle di **MASSA** sensibilmente maggiore, l'evoluzione è molto più rapida.

D) - Sorgente di energia delle Stelle.

Da- Energia prodotta nelle reazioni dette "**CATENA PROTONE-PROTONE**"

Le Stelle sono costituite da idrogeno, le reazioni di fusione che alimentano la loro continua emissione di energia implicano la trasformazione di 4 atomi di $^1\text{H}_1$ in un atomo di $^4\text{He}_2$.

1- Determino il difetto di massa (Dfm) della reazione di fusione: $4^1\text{H}_1 \rightarrow ^4\text{He}_2$. u. m. a

$$m_{\text{H}} = 1100797 \times 4 = 4.03188 \text{ u.m.a}$$

$$m_{\text{He}} = 4 \times 1.00065 = \frac{4.00260}{0.02928} \text{ u.m.a}$$

$$= 0.02928 \text{ Dfm}$$

$$\text{Dfm/u.m.a} = 0.02928 \text{ (difetto di massa espresso in u.m.a)}$$

2- Trasformo il **Dfm/u.m.a** in **Dfm/g** (difetto di massa espresso in grammi)

Sapendo che

$$\text{Dfm/g} = \text{Dfm/u.m.a} \times 0,02928 = 0,02929 \times 1,6598 \cdot 10^{-24} = \text{g. } \underline{\underline{4.85989 \cdot 10^{-26}}}$$

3- Calcolo l'energia espressa in **erg/atomo** ed in **erg/mole** sviluppata da tale difetto di massa (Dfm):

$$E/\text{erg (atomo)} = m/g \times c^2/\text{cm} = 4.85989 \times 10^{-26} \times (3.00 \cdot 10^{10})^2 = 4.37390 \cdot 10^{-5}$$

N. B.- Sapendo che $1\text{M} = \text{atomi } \underline{\underline{6.0226 \cdot 10^{23}}}$ calcolo gli **erg/mole**;

$$E/\text{erg/mole} = E/\text{erg/atomo} \times 6.0226 \cdot 10^{23} = 4.3739 \cdot 10^{-5} \times 6.0226 \cdot 10^{23} = 2.63423 \cdot 10^{19} \text{ erg}$$

4- Trasformo l'energia espressa in erg in energia espressa in **Mega-elettron-Volt (MeV)**, sapendo che $1\text{MeV} = \underline{\underline{1.6 \cdot 10^{-6} \text{ erg}}}$: $E/\text{erg (M)} = 1.6 \cdot 10^{-6} = 2.63423 \cdot 10^{19} = 1.6 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{1.64639 \cdot 10^{25} \text{ MeV}}}$.

5- Trasformo i **MeV** in piccole calorie (**cal**) e chilo-calorie (**Kcal**)

Sapendo che: $1\text{MeV} = \underline{\underline{3.82 \cdot 10^{-14} \text{ cal}}}$.

$$E/\text{cal(M)} = E/\text{MeV(M)} \times 3.82 \cdot 10^{-14} = 1.64639 \cdot 10^{25} \times 3.82 \cdot 10^{-14} = 6.28921 \cdot 10^{11}$$

6- Trasformo le **piccole calorie (cal)** in **chilo-calorie (Kcal)** sapendo che $1\text{Kcal} = 1000 \text{ cal}$:

$$E/\text{Kcal (M)} = E/\text{cal (M)} : 1000 = 6.28921 \cdot 10^{11} : 1.00 \cdot 10^3 = \underline{\underline{6.28921 \cdot 10^8}}$$

N.B.- Di norma, nelle reazioni chimiche, le energie in gioco, sono sempre dell'ordine di qualche **centinaio di Kcal (M)**.

Db- La **CATENA PROTONE-PROTONE**: Fu proposta alla fine degli anni '30 dai fisici **C.F.**

Weinzaehner e **H. Bethe**. Comprende diverse vie:

1- Via **DEUTERIO-ELIO**: Inizia quando la temperatura del **NUCLEO STELLARE** diventa $T = 1000.000^\circ\text{K}$



2- via **BERILLIO-LITIO-BERILLIO**: che avviene alla stessa temperatura della precedente:

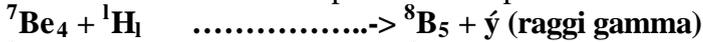
$$3.000.000^\circ\text{K} < T > 7.000.000^\circ\text{K}$$





3- via BERILLIO-TORO-BERILLIO:

che avviene alla stessa temperatura della precedente: $3.000.000^\circ\text{K} > T < 7.000.000^\circ\text{K}$:



Dc- CICLO CARBONIO-AZOTO O CICLO DI BETHE:

quando invece la temperatura del nucleo stellare raggiunge valori che superano i **15 milioni di °K** cominciano a predominare un'altra serie di reazioni che sono assenti nel nucleo solare. Condizioni così alte di temperatura sono possibili, per le Stelle della "**frequenza principale**", solo per le più massicce. Questo insieme di reazioni di "**fusione**" formano un ciclo in cui i nuclei di ${}^{12}\text{C}$ che inizialmente con ${}^1\text{H}_1$, dopo una serie di reazioni che producono un nucleo di ${}^4\text{He}_2$ vengono rigenerati formando il **CICLO DI BETHE**:

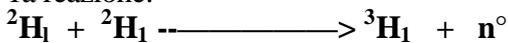


Quindi il ciclo **Carbonio-Ossigeno**, come la **catena protone**, comporta la produzione di 1 nucleo di ${}^4\text{He}_2$ attraverso la fusione di 4 nuclei di ${}^1\text{H}_1$.

Dd- LA SINTESI DEGLI ELEMENTI CHIMICI

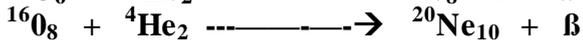
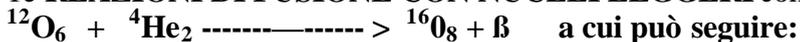
Tutti gli scienziati sono concordi sul fatto che inizialmente l'**UNIVERSO** era costituito, esclusivamente da **H**. Le reazioni di "**fusione nucleare**" che forniscono energia alle Stelle producono qualcuno degli elementi leggeri ma per ottenere tutti gli altri elementi chimici, occorrono altri tipi di reazioni che non abbiamo ancora esaminato.

Un primo tipo consiste nelle **REAZIONI DI CATTURA DI NEUTRONI** da parte di un nucleo atomico a cui segue un decadimento β_1 che dà origine ad un nuovo elemento, chimico che ha il numero atomico maggiore di una unità rispetto al nucleo che ha catturato inizialmente il neutrone. Si pone allora il problema della fonte dei neutroni nelle Stelle dato che nessuna delle reazioni che abbiamo finora esaminato produce dei neutroni liberi. Essi sono prodotti inizialmente dalla reazione tra nuclei di deuterio, intermedi della catena **PROTONE-PROTONE**, che producono **trizio**, attraverso la reazione:



Questi possono essere catturati dai diversi nuclei presenti nella Stella e contribuire alla sintesi dei nuovi elementi chimici.

Un secondo tipo di reazioni che possono produrre nuclei con numero atomico sempre maggiore sono le **REAZIONI DI FUSIONE CON NUCLEI LEGGERI** come ${}^1\text{He}$ ad esempio:



(ecc.) che formano ogni volta nuclei con numero atomico maggiore di 2 unità

Nelle Stelle della "**sequenza principale**" vi è però un limite a questi processi. Nel loro interno le reazioni di fusione possono proseguire solo fino alla formazione del **Fe** (numero atomico 26) perché le reazioni che portano a produrre nuclei con numero atomico maggiore di quello del **Fe** consumano, per avvenire, più energia di quella che producono. E gli elementi più pesanti? Essi vengono formati, sempre attraverso reazioni di **FUSIONE** di nuclei leggeri, solo nelle condizioni estreme che si hanno durante le fasi iniziali dell'esplosione delle **Supernovae** e così questi particolarissimi oggetti celesti sono la fonte di tutti i nuclei più pesanti del **Fe**. La loro esplosione proietta nello spazio

interstellare questi elementi pesanti, sia pure in piccola quantità, nelle enormi **Nubi di idrogeno** da cui si formeranno le nuove Stelle.

H)- STRUTTURA DELLE STELLE.

Ha- Generalità

La prima distinzione che si adotta studiando le diverse zone di una Stella consiste nel separare la parte visibile da quella invisibile.

Intenderemo per **VISIBILE** la parte nella quale la **LUCE** (o qualunque altro tipo di radiazione) ci arriva direttamente, e, per parte **INVISIBILE** il resto.

La parte **VISIBILE** riceve il nome di **ATMOSFERA**, quella **INVISIBILE** di **INTERNO STELLARE**.

L'analisi della **LUCE EMESSA** dalle atmosfere stellari ci offre una messe di dati sul loro **STATO FISICO: TEMPERATURA, DENSITA', PRESSIONE, ACCELERAZIONE GRAVITAZIONALE e COMPOSIZIONE CHIMICA**.

Hb- Interno di una Stella

L'INTERNO DI UNA STELLA Si divide generalmente in **DUE PARTI**:

- 1)- La zona nella quale si producono, le **REAZIONI TERMONUCLEARI** (includendo la parte centrale anche se in quella sono già cessate) conosciuta come **NUCLEO**
- 2- La zona esterna, che mantiene approssimativamente la sua composizione chimica iniziale e riceve il nome di **INVOLUCRO**.

Hc- Atmosfera stellare.

L'ATMOSFERA ha una struttura complessa, perché in realtà è una zona di transizione tra l'interno e lo spazio interstellare. Molte delle ipotesi adottate per studiare i **PROCESSI FISICI nell'INTERNO STELLARE** perdono di validità nell'**ATMOSFERA** oppure sono soltanto molto approssimative. Una di queste è che la **TEMPERATURA** della **RADIAZIONE** (il suo colore) coincide con quella della materia delle zone che attraversa.

Riferendoci al **SOLE**, che è stato studiato dettagliatamente, nell'**ATMOSFERA** di una Stella possiamo distinguere **TRE PARTI: FOTOSFERA, CROMOSFERA e CORONA**.

Hcl -Fotosfera.

La **FOTOSFERA** è la zona più bassa dell'**ATMOSFERA**; da essa proviene la parte essenziale della **LUCE** emessa dalla Stella.

Nel caso del **SOLE**, il fondo della **FOTOSFERA** presenta una **GRANULAZIONE** di struttura variabile, che si attribuisce alla **CONVEZIONE** negli strati esterni dell'**INVOLUCRO**.

Il suo **SPESSORE** è intorno al **MILLESIMO** del raggio solare (qualche centinaio di chilometri).

Hc2. Cromosfera.

Sopra alla **FOTOSFERA**, per alcune centinaia di chilometri, si trova la **CROMOSFERA** che ha una struttura notevolmente eterogenea, in forma di piccoli **AGHI e SPICOLE**. La sua **TEMPERATURA**, al contrario di ciò che accade nell'interno della Stella o nella stessa **FOTOSFERA**, **CRESCHE VERSO L'ESTERNO**.

Hc3- Corona

Intorno alla **CROMOSFERA** e fino a distanze (misurate a partire dalla superficie) dell'ordine di centomila chilometri, si estende la **CORONA**, regione molto tenue e di struttura complessa, che raggiunge **TEMPERATURE SUPERIORI AL MILIONE DI GRADI**.

Hd- Vento stellare.

Fuori della **CORONA** esistono, correnti di gas, più diluite della corona, che fluiscono dalla Stella a velocità molto elevate (alcune **CENTINAIA DI Km/sec.**) che costituiscono il **VENTO STELLARE**.

Nel caso del **SOLE** questo **VENTO SOLARE** è stato osservato direttamente con strumenti installati a bordo di satelliti o di onde spaziali.

Si è potuto così valutare dalla Terra la sua influenza sulla **FORMA DELLA CODA DELLE COMETE**.

Si crede che il fenomeno del **VENTO SOLARE** (e probabilmente anche l'esistenza della **CORONA**) dipenda dalla formazione di una zona di trasporto convettivo del calore negli strati esterni dell'involucro.

I movimenti di materia connessi alla **CONVEZIONE** nella parte superiore di questa zona creerebbero **ONDE SONORE** che si propagherebbero verso l'esterno e si disperderebbero nell'alta cromosfera e nella bassa corona spiegando così le alte temperature di tali regioni. Infatti il **SOLE** permette anche in modo intermittente, **PARTICELLE DI ALTISSIMA ENERGIA** (velocità dell'ordine di varie migliaia di Km/sec).

Si suppone che questo fenomeno, in correlazione all'attività atmosferica del **SOLE**, si produca anche nella maggior parte delle Stelle, almeno in quelle dello stesso tipo.

D)- COLORE E TEMPERATURA DELLE STELLE.

Ia- Le sostanze che **EMETTONO LUCE** producono uno "**spettro, luminoso**". Le caratteristiche che di questo "spettro" dipendono dalla **NATURA** e dalla **TEMPERATURA** dell'emittente e dalla **MATERIA** che la **LUCE** ha attraversato prima di arrivare all'osservatore.

Ib- In **ASTROFISICA** lo **SPETTRO** provocando la **DISPERSIONE** della luce (raccolta prima mediante un telescopio o un cannocchiale), con uno strumento adeguato.

In questo modo si ottiene una immagine **BRILLANTE, CONTINUA**, la cui **COLORAZIONE** varia dal **ROSSO al VIOLETTO** (le intensità dei diversi colori dipendono dalla temperatura della Stella).

Su questo fondo, compaiono **RIGHE OSCURE** e **RIGHE BRILLANTI**. Le prime (scure) sono dovute all'**ASSORBIMENTO** della luce da parte di certe sostanze che costituiscono gli strati esterni della Stella.

Le seconde (brillanti) sono dovute all'**EMISSIONE** di luce da parte di altre sostanze costituenti la materia della Stella.

Queste **RIGHE** si possono identificare secondo la zona dello **SPETTRO** in cui compaiono; la loro presenza e la loro intensità sono in relazione con la **TEMPERATURA** esistente alla superficie della Stella e permettono per di più di ottenere informazioni sugli **ELEMENTI o COMPOSTI CHIMICI** che vi si trovano. Queste **RIGHE** si possono identificare secondo la zona dello **SPETTRO** in cui compaiono; la loro presenza e la loro intensità sono in relazione con la **TEMPERATURA** esistente alla superficie della Stella e permettono per di più di ottenere informazioni sugli **ELEMENTI o COMPOSTI CHIMICI** che vi si trovano.

Ic- La classificazione delle Stelle per mezzo dei loro **SPETTRI** ha portato alla costituzione dei **TIPI SPETTRALI**, nei quali si raggruppano, le Stelle in relazione alle **RIGHE DI ASSORBIMENTO** e di **EMISSIONE** osservate.

La **CLASSIFICAZIONE** più antica è quella di **PADRE SECCHI** (gesuita 1868) che definì 4 **TIPI** di Stelle:

1)- **STELLE AZZURRE E BIANCHE** il cui **SPETTRO** contiene poche **RIGHE** prodotte da **METALLI**.

2)- **STELLE GIALLE** (come il **SOLE**): il loro **SPETTRO** contiene molte **RIGHE** dovute a **METALLI**.

3)- **STELLE ROSSOARANCIONE** il cui **SPETTRO** contiene ampie zone di **ASSORBIMENTO (BANDE)** dovute a **MOLECOLE, BANDE** che si spingono fino al **ROSSO** estremo.

4)- STELLE ROSSE il cui **SPETTRO** contiene ampie **BANDE DI ASSORBIMENTO MOLECOLARE**, che si spingono fino al **VIOLETTO**.

Id- Questa **CLASSIFICAZIONE** fu perfezionata sulla fine del secolo 19°, soprattutto dall'Osservatorio di **HARVARD**.

All'inizio del nostro secolo, si pubblicò lo **HENRY DRAPER CATALOGUE** che contiene **240.000** Stelle, ripartite in 10 **TIPI**, ciascuno dei quali viene diviso a sua volta in 10 **PARTI**.

Attualmente la sequenza universalmente accettata contiene **8 T I P I : O, B, A, F, G, K, M, C**, dalle Stelle più **CALDE** alle più **FREDDE**.

N.B.- Nelle **Università americane ed inglesi** è stata conosciuta una caratteristica frasetta che consente ai giovani una facile memorizzazione di tutti i tipi tranne la "C" finale: (**O, Be. A, Eine Qirl, kiss Me**) (Se sei una ragazza carina, baciami)

Le Stelle **O e B** sono, **AZZURRE**.

Le stelle **A** sono, **BIANCHE**.

Le Stelle **F, G, K** sono, **GIALLE o GIALLO ARANCIONE**.

Le Stelle **M e C** sono **ROSSE**.

II TIPO C (**STELLE DI CARBONIO**) congloba gli ultimi tre tipi dell'antica classificazione (**R, N, S**) .

Ie- Tra il 1930 e il 1950 lo studio più dettagliato delle **R I GHE**, determinò la necessità di stabilire un secondo parametro di classificazione in ciascun tipo: si introdusse anche la classificazione in **CLASSI: (I, II, III, IV, V)**.

Così, come la classificazione per **tipi** corrispondenti in linea di massima, ad un ordinamento secondo la temperatura, la divisione in classi riflette una classificazione secondo la pressione .

Per esempio, il **SOLE** è una Stella di **TIPO G2** e di **CLASSE V (5[^])**. La **CLASSE V** corrisponde a Stelle che abbiamo chiamato di **SEQUENZA PRINCIPALE**.

Le altre classi sono: **IV (SUBGIGANTI)**,

III (GIGANTI)

II (GIGANTI BRILLANTI),

Ib (SUPERGIGANTI MENO BRILLANTI)

Ia (SUPERGIGANTI) .

I criteri di classificazione in **TIPI** variano da catalogo a catalogo. In molti casi si adotta come parametro di classificazione l'**INDICE DI COLORE**, il cui valore diminuisce dalle Stelle più **ROSSE** a quelle più **AZZURRE**, eppure dalle più **FREDDE** alle più **CALDE**.

Questo valore può facilmente essere messo in relazione con la **TEMPERATURA** della superficie stellare.

L)- DIAGRAMMA DI HERTZSPRUNG-RUSSEL

La- All'inizio di questo secolo, due astronomi, il danese **H . HERTZSPRUNG** (1873-1967) e l'americano **H . N . RUSSEL** (1877- 1957) si accorsero indipendentemente l'uno da l'altro che riportando, sulle **ASCISSE** di un sistema di assi cartesiani la **CLASSE SPETTRALE** e **SULLE ordinate la MAGNITUDINE ASSOLUTA**, la maggior parte dei punti che rappresentavano le singole Stelle di cui allora si conoscevano questi due valori, andavano a cadere lungo una stretta fascia disposta dall'angolo in alto a sinistra verso l'angolo in basso a destra.

Lb- In altre parole le Stelle di maggiore magnitudine assoluta appartenevano tutte alla classe spettrale **O o B** mentre quelle a minore magnitudine sono Stelle rosse delle classi **K o M**.

In questo diagramma, detto, **DIAGRAMMA HERTZSPRUNG - RUSSEL** o più semplicemente **DIAGRAMMA H-R**, buona parte delle Stelle si dispongono quindi lungo una fascia che viene chiamata "**SEQUENZA PRINCIPALE**".

Le Stelle della "**sequenza principale**" sono quelle che Stanno vivendo, un periodo (normale) della loro storia in cui producono energia bruciando il loro idrogeno nelle reazioni di "**FUSIONE NUCLEARE**".

Lc- Le Stelle che non si trovano sulla "**sequenza principale**" formano due gruppi. Il primo, è quello, delle **GIGANTI ROSSE** localizzato in alto a destra del "**diagramma HR**". Il termine "**GIGANTE ROSSA**" deriva dal fatto, che le Stelle della "**sequenza principale**" che hanno **MAGGIORE LUMINOSITA' ASSOLUTA** e sono quindi dette "**GIGANTI**", sono **BLU** mentre queste Stelle, pur avendo, una altissima luminosità, appartengono, alle classi spettrali **K** e **M**.

Ld- Il secondo gruppo è quello delle **NANE BIANCHE** che si trovano nell'angolo in basso a sinistra del "**diagramma H-R**" e che, diversamente dalle **NANE ROSSE**, cioè di minore luminosità assoluta, della sequenza principale appartengono alle classi spettrali **A** e **F**.

Il "**diagramma H-R**" è stata una delle scoperte fondamentali dell'astronomia, innanzi tutto perché rivela che vi è un ordine nella immensa varietà apparente degli oggetti stellari ed in secondo luogo perché dalla posizione che le singole Stelle assumono, nel "**diagramma H-R**" possiamo, conoscere buona parte delle loro caratteristiche. Infatti andando dall'alto al basso troviamo, Stelle sempre meno luminose e meno massicce. Si è scoperta una relazione molto semplice tra la **LUMINOSITA' ASSOLUTA (L)** di una Stella e la sua **MASSA (m)** e cioè: $L = m^{3,5}$.

Le- Altrettanto, andando da sinistra a destra, avremo dapprima Stelle con temperatura superficiale altissima (fino a **40.000 °C**) che si presentano, **BLU** per arrivare alla fine alle **STELLE ROSSE** con temperatura superficiale bassa, sotto i **3.000 C**.

Dalla "**Legge di Wien**" che lega la temperatura della Stella alla lunghezza d'onda della radiazione di massima intensità presente nello spettro: $I_{\max} \times T = \text{costante}$ dove **T** è la temperatura assoluta della Stella misurata in gradi "**Kelvin**". Se esprimiamo la "**l**" in micron la "**Legge di Wien**", diventa: $I_{\max} \times T = \text{circa } 3.000 \text{ (micron)} \times \text{K}$

Il "**diagramma H-R**" permette quindi di concludere che per le Stelle della sequenza principale la **LUMINOSITA' ASSOLUTA** e quindi la **PRODUZIONE DI ENERGIA**, dipende fondamentalmente dalla **MASSA STELLARE**. Infatti le Stelle più massicce sono anche le più luminose e con, temperatura superficiale maggiore mentre quelle di minore massa producono minore energia e si presentano perciò **ROSSE**.

Lf- Il **SOLE** si trova circa a metà della sequenza principale di cui può essere perciò considerata un "**campione significativo**". D'altra parte le Stelle della sequenza principale, che come abbiamo detto, rappresentano, la maggior parte delle Stelle della nostra **GALASSIA**, non hanno caratteristiche grandemente variabili rispetto a quelle del **SOLE**. Le loro Masse sono spesso vicine alla massa solare ed i valori estremi per le Stelle note vanno da 0,15 fino a circa **30** masse solari (M_{\odot}). Anche la **LUMINOSITA' ASSOLUTA** varia da un massimo di circa **100.000** quella del **SOLE** fino a circa 1/100 del suo valore. Ciò che invece può variare moltissimo è la **DENSITA'** che, come vedremo, per alcune "**Stelle particolari**" raggiunge valori altissimi.

.M)- LA VITA DELLE STELLE

Ma- Fasi della vita di una stella.

Ma1- Protostella

Quando gli **EMBRIONI STELLARI** o **PROTOSTELLE** diventano **visibili** attraverso, il resto della **Nube da cui si sono formate**, si può considerare che, allora, comincia la vita delle Stelle.

Ma2- Inizio della vita di una Stella. (**STELLE RZZURRE**)

Il loro aspetto, in questa fase, così come lo stato del loro intero, dipende dalla loro **MASSA**. In questo modo, le Stelle di grande **MASSA** (venti o trenta volte quella del **SOLE**, (per fare un esempio) avranno già iniziato le **REAZIONI TERMONUCLEARI** (fusione dei nuclei di **H** per formare **He**) quando la Nube circostante era ancora spessa..

Tali Stelle appariranno **AZZURRE** e **MOLTO LUMINOSE**, e, nel **DIAGRAMMA DI H-R** occuperanno una posizione sulla **SEQUENZA PRINCIPALE**, nella sua parte superiore sinistra. .

Ma3-Stelle nialle (SOLE).

AL contrario le Stelle come il **SOLE** saranno **ROSSICCE** e nel loro interno non si produrranno, ancora **REAZIONI TERMONUCLEARI**.

Queste Stelle che non hanno ancora raggiunto, nelle loro zone centrali, temperature dell'ordine **10 MILIONI DI GRADI** (necessari perché abbia inizio la combustione dell'idrogeno continueranno a **CONTRARSI** ed a **RISCALDARSI** fino a raggiungerle: fase chiamata **CONTRAZIONE GRAVITAZIONALE PRESEQUENZA PRINCIPALE**.

Si chiama così; perché è l'unica sorgente di **ENERGIA** per la Stella e di tipo **GRAVITAZIONALE** e, perché questi **OGGETTI ROSSICCI** e di grandi dimensioni stanno, nel diagramma di **HERTZSPRUNG-RUSSELL**, alla destra della linea conosciuta come **SEQUENZA PRINCIPALE**.

Ma4- Stella in fase di contrazione gravitazionale.

L'evoluzione della Stella, durante la contrazione, fa sì che la propria **LUMINOSITA'** diminuisca mentre la superficie si riscalda.

Nel diagramma H-R la Stella occupa successive posizioni lungo una linea, o **TRACCIA EVOLUTIVA**, che termina in un punto apparentemente alla **SEQUENZA PRINCIPALE** e dipende dalla **MASSA** della Stella.

La **CONTRAZIONE GRAVITAZIONALE** è tanto più rapida quanto maggiore è la **MASSA** della Stella. Per una Stella come il **SOLE**, dura circa **15 MILIONI DI ANNI**.

Quando comincia la combustione dell'**IDROGENO**, tutte le Stelle occupano una linea nel **DIAGRAMMA DI H—R** chiamata **SEQUENZA PRINCIPALE INIZIALE**.

Ma5- Stelle dopo l'inizio della combustione dell'idrogeno, (H).

Le Stelle di **MASSA MAGGIORE** sono più **LUMINOSE** e **AZZURRE**; quelle di **MASSA MINORE** sono **MENO LUMINOSE** e **ROSSICCE**.

Ne segue che la **SEQUENZA PRINCIPALE INIZIALE** è una linea inclinata, che va dall'angolo superiore sinistro all'inferiore destro del **DIAGRAMMA DI H - R**.

La **LUMINOSITA'** di ogni Stella in questa fase è approssimativamente, proporzionale al **CUBO** della massa. "**La Stella rimane nella SEQUENZA PRINCIPALE** finché dura la combustione dell'idrogeno (**H**) nella sua zona centrale. **E' LA FASE più LUNGA DELLA SUA VITA**.

Nel **SOLE**, che attualmente vi si trova, durerà in totale circa **5 MILIARDI DI ANNI**. In Stelle di **MASSA MAGGIORE** può essere molto più breve: meno di **10 MILIONI DI ANNI** .

La sua durata è inversamente proporzionale alla **LUMINOSITA'** dell'Astro,. In questa fase il cammino, evolutivo, praticamente si arresta. La Stella occupa un punto fisso nel **DIAGRAMMA DI HERTZSPRUNG - RUSSELL**.

Sono Stelle **azzurre** della sequenza principale: **RIGEL** e **DENEK**..

Sono Stelle **bianco-azzurre** più grandi del **SOLE** : **VEGA**, **SIRIO** e **ALTAIR**.

Sono Stelle **gialle**: **PROCIONE** e il **SOLE**.

Sono stelle **giganti rosse** (**BETELGEUSE**); **nane rosse** (**61 Cyg**),

Quando, si **ESAURISCE** l'idrogeno, nel **CENTRO** della Stella, i suoi strati esterni si dilatano e si raffreddano. Il punto che le rappresenta nel **DIAGRAMMA H-R** si sposta verso destra (e in generale anche in alto) . Comincia una nuova fase dell'evoluzione.

Una Stella che abbia una **MASSA** simile a quella del **SOLE** si dilaterà in modo straordinario. I suoi **STRATI ESTERNI** arriveranno ad essere molto poco densi e la sua superficie si raffredderà; la

LUCE diventerà **ROSSICCIA** e la **LUMINOSITA' AUMENTERA'**, malgrado, il raffreddamento, a causa del grande aumento del raggio,. Si sarà allora trasformata in una **GIGANTE ROSSA** (es. **Betelgeuse in Orione**).

Le Stelle di **GRANDE MASSA**, che, nella sequenza principale, erano, **GIGANTI AZZURRE**, hanno anch' esse la loro evoluzione verso lo stato di **GIGANTI ROSSE**, senza quasi cambiare la loro **LUMINOSITA'**. I loro **STRATI ESTERNI** si dilatano e la superficie si raffredda.

Il diametro di una **GIGANTE ROSSA** può essere enorme in confronto a quello del **SOLE**. **BETELGEUSE** è **400 VOLTE MAGGIORE** ed **ANTARES** 300. Il diametro di **BETELGEUSE** è di **550 MILI ONI** di Km; se fosse al posto del **SOLE**, la sua superficie racchiuderebbe l'**ORBITA DI MARTE**. **ANTARES** e **BETELGEUSE** sono, propriamente, delle **SUPER - GIGANTI-ROSSE**.

La supergigante più grande che si conosca (**EPSILON AURIGAE**) ha un diametro **2000 VOLTE SUPERIORE** a quello del **SOLE**.

Altre **GIGANTI ROSSE** sono **ARTURO in BOOTE** e **ALDEBARAN nel TORO**.

Ma- In seguito alla grande dilatazione degli strati esterni, le **GIGANTI ROSSE** possono anche arrivare ad espellerli.

Si crede che le **NEBULOSE PLANETARIE (GRANDI)** anelli di **GAS** che circondano (una Stella molto calda e poco luminosa) siano il risultato di questo processo.

L'EVOLUZIONE di una STELLA fino alla fase di **GIGANTE ROSSA** ci ha condotto, lungo una traiettoria i cui dettagli possono essere complessi, nell'angolo superiore destro del **DIAGRAMMA H - R**.

Le fasi successive sono più problematiche: di pendono, dalla **MASSA della STELLA** e da processi fisici che conosciamo solo in parte.

Se la Stella ha (fino dall'inizio o dopo l'espulsione degli strati esterni) una **MASSA** inferiore a una volta e mezzo quella del **SOLE**, terminerà la sua vita come **NANA BIANCA**.

Esauriti I suoi combustibili termo-nucleari si **CONTRARRA'** per effetto della propria gravità; la sua **LUMINOSITA'** diminuirà mentre la **TEMPERATURA** della sua superficie crescerà.

In seguito all'enorme aumento della **DENSITA'**, le proprietà della **MATERIA** all'interno della Stella cambiano e non seguono più le leggi della **FISICA CLASSICA**.

In particolare la pressione è molto più grande di quella che competerebbe ad un gas della stessa **DENSITA'** ed alla **TEMPERATURA**.

SIRIO B (conosciuta anche come la **COMPAGNA DI SIRIO**) è un esempio di **NANA BIANCA**. E' una Stella **MOLTO POCO LUMINOSA** e con una superficie **CALDISSIMA** (circa **11.000 °K**). La sua grandezza è circa **4 VOLTE** quella della Terra, mentre la sua **MASSA** è dell'ordine di quella del **SOLE**; il che implica una **DENSITA' MEDIA di UNA TONNELLATA** per cm³. Le **NANE BIANCHE** sono situate nell'angolo inferiore sinistro del **DIAGRAMMA DI H - R**. Il loro destino è di raffreddarsi progressivamente fino a cessare di essere **OGGETTI LUMINOSI** e scomparire.

Ma7- E' molto probabile che le Stelle che hanno la loro evoluzione come **GIGANTI ROSSE** mantengano **MASSE** notevolmente superiori a quella del **SOLE**, finiscano la loro vita in modo assai più spettacolare; **ESPLODONO**, espellendo una gran parte della loro **MASSA**, e lasciano un residuo **MOLTO DENSO**, un oggetto simile ad un **NUCLEO ATOMICO** per la sua densità e composizione, per quanto la sua **MASSA** sia paragonabile a quella del **SOLE**. Questo **RESIDUO**, come vedremo è una Stella di **NEUTRONI**.

E' perfino possibile che l'oggetto sia tanto denso da impedire l'**USCITA** di ogni **RADIAZIONE**: si tratterà allora di un **BUCO NERO**, le cui proprietà debbono essere analizzate alla luce della teoria della **RELATIVITA' GENERALE**.

L'ESPLOSIONE DI UNA STELLA determina uno spettacolare aumento della sua **LUMINOSITA'**, seguito da una graduale diminuzione che può arrivare alla **ESTINZIONE** completa.

Questo fenomeno si conosce fin dall'antichità col nome di **SUPERNOVA**.

L'UNIVERSO IN ESPANSIONE.

Il **RED - SHIFT** (Lo spostamento verso il rosso)

L'analisi degli **SPETTRI** della radiazione elettromagnetica emessa da tutte le **GALASSIE** a noi note mostra che la loro "**LUCE**" è spostata verso il **rosso (RED - SHIFT)**.

Le misure, depurate dell'effetto della rotazione del **Sistema Solare** attorno al centro della **GALASSIA**, dicono che tutte le **GALASSIE** sono in allontanamento dalla **Via Lattea**. Fanno eccezione alcune **GALASSIE del GRUPPO LOCALE** come la **GALASSIA DI ANDROMEDA** che mostra un "**BLUESHIFT**" che corrisponde ad una velocità di avvicinamento pari a circa **100 Km/sec**, ma al di fuori del **GRUPPO LOCALE** vi è solo "**RED - SHIFT**".

La velocità di allontanamento si può ricavare dalla formula del **red - shift**: $v = c \cdot dl / l_0$ dove v = **velocità di allontanamento in Km/sec**, c = **velocità della luce in Km/sec**, dl = **redshift** cioè la differenza tra la "**l**" come la riceviamo noi e la "**l₀**" come è stata emessa dalla galassia.

Già alla fine degli anni **1920** l'astronomo americano **E.P. Hubble** (1889-1953) aveva dimostrato che la velocità di allontanamento, delle galassie di cui allora si conosceva la distanza (fino a **250 milioni di anni luce**) non è distribuita in modo casuale ma proporzionale alla loro distanza dalla **VIA LATTEA**. In altre parole non solo tutte le galassie si allontanano dalla **Via Lattea** ma la loro velocità di allontanamento è tanto maggiore quanto più esse sono distanti. La relazione che lega la velocità di allontanamento delle galassie (V) e la loro distanza (r) è la "**LEGGE DELLA RECESSIONE DELLE GALASSIE** detta anche **LEGGE DI HUBBLE**":

$$V = H_0 \cdot r$$

dove H_0 è una costante nota col nome di **COSTANTE DI HUBBLE**.

Recentemente l'astronomo **A. SANDAGE** ha esteso la validità della "**Legge di Hubble**" molto più in là dei **250 milioni di anni luce** dimostrando che vi è una relazione lineare tra la "**MAGNITUDINE APPARENTE**" delle galassie e delle radio-galassie più "**brillanti**" presenti negli Ammassi lontani e il valore del loro "**REDSHIFT**". Questo dato può essere facilmente spiegato, alla luce della "**Legge di Hubble**" supponendo che tutte queste galassie abbiano circa la stessa **LUMINOSITA'** (o **MAGNITUDINE**) **ASSOLUTA** e che la "**MAGNITUDINE APPARENTE**" diminuisca per effetto della distanza.

La "**Legge della recessione**" non significa affatto che la **Via Lattea** si trova al centro dell'Universo ma essa è compatibile invece con l'idea che tutto l'Universo, **sia in espansione** e che per qualsiasi galassia valga la medesima "**Legge di recessione**". Solo in questo caso un ipotetico osservatore che si trovi su una qualsiasi delle galassie vedrebbe tutte le altre allontanarsi con velocità sempre maggiori quanto più sono lontane.

ETA' DELL'UNIVERSO

L'importanza della "**Legge di Hubble**" non si esaurisce con l'affermazione della espansione dell'Universo ma riguarda anche il problema dell'**ETA'** dell'**UNIVERSO**. Infatti se consideriamo il moto delle galassie a ritroso nel tempo, dovremmo arrivare ad un momento in cui tutte le galassie, e, quindi, tutto l'Universo erano concentrate in un piccolo volume.

Per sapere a quanto risale questo momento d'inizio dell'Universo possiamo usare il valore della costante di Hubble facendo l'ipotesi che la "**velocità di recessione**" sia stata costante nel tempo.

Quindi la misura del valore della costante di Hubble (H_0) è di fondamentale importanza per conoscere "**l'età dell'Universo**" perché questa, nell'ipotesi della velocità costante di espansione è semplicemente l'inverso della "**costante di Hubble**":

$$\text{Età Universo} = 1/H_0.$$

Il valore di H_0 trovato da Hubble era di **500 Km/sec** di allontanamento ogni milione di "**parsec**" di distanza che corrisponde ad una **età dell'Universo di circa 2 miliardi di anni**, un'età minore di quella che già a quel tempo si attribuiva alla Terra e al Sole. Successivamente le nuove misure hanno fatto diminuire il valore di H_0 che all'inizio del 1970 era sceso fino a **100 Km/sec** per milione di "**parsec**" di distanza a cui corrisponde un'età di circa 10 miliardi di anni.

Più recentemente alcuni astronomi tra cui A. Sandage, dopo un approfondito esame dei dati disponibili, hanno ridotto ulteriormente il valore di **H₀** fino a **55 Km/sec** per milione di "**parsec**" di distanza.

Non tutti gli astronomi sono concordi su questo, dato ed un gruppo consistente, capeggiato da **G. de Vaucouleurs**, un astronomo americano di origine francese ritiene ancora valido il valore di **100 Km/sec per milione di "parsec" di distanza**.

La disputa è tutt'altro che risolta, ma qualunque sia il valore "**vero**" di **H₀**, l'età dell'Universo risulta maggiore di "**10 miliardi di anni**".