

Le stelle, le galassie e l'universo (A)



Il sistema solare (A)



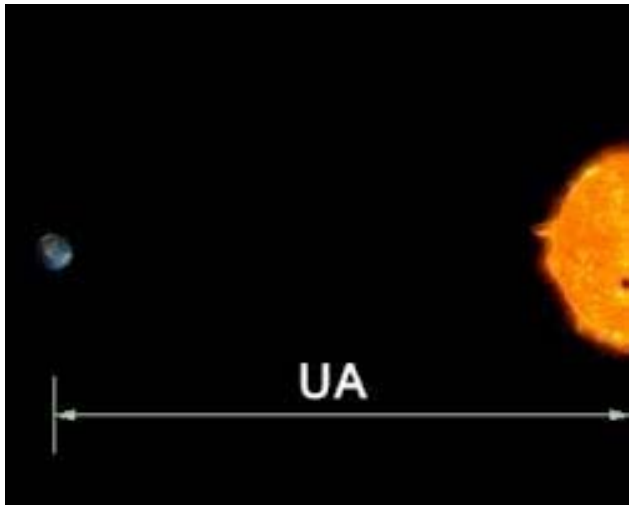
Rispetto alla Terra, le dimensioni del sistema solare sono enormi.

E tuttavia, rispetto all'universo, i pianeti del sistema solare sono i nostri “vicini di casa”.

Il Sole e gli otto pianeti che ruotano intorno

Unità di misura delle distanze nella cosmologia (I) (A)

Per misurare tali enormi distanze occorrono unità di misura adatte.



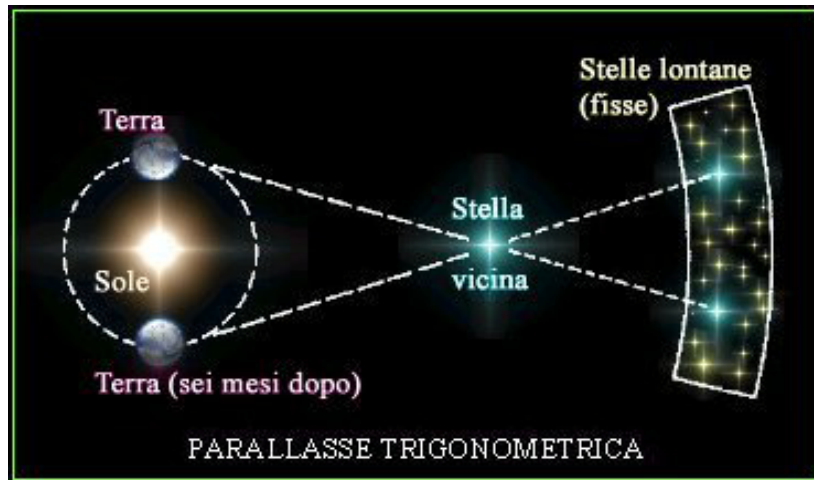
Per il sistema solare si può utilizzare la **U.A. (Unità Astronomica)**. Essa corrisponde alla distanza media della Terra dal Sole, che è di 150 milioni di km.

Per distanze maggiori conviene utilizzare **l'Anno Luce**, che corrisponde al percorso effettuato dalla luce nel tempo di un anno (1).

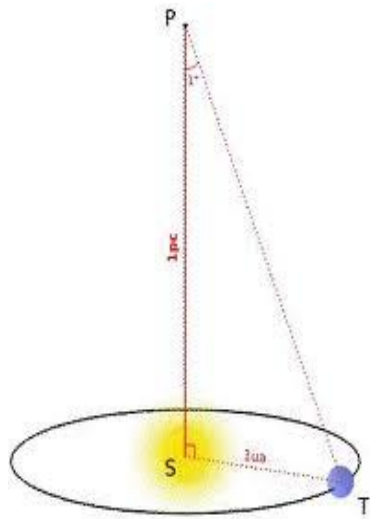
La stella più vicina alla Terra (2) dista 4 anni luce, il Sole 8 minuti luce, la Luna 1 secondo luce.



Unità di misura delle distanze nella cosmologia (II) (C)



Si può misurare la distanza di un astro vicino anche in altro modo. Per inquadrare la stella vicina (vedi fig.) il telescopio dovrà essere puntato in una determinata direzione. Sei mesi dopo, per inquadrare la stessa stella, bisognerà deviare il telescopio di un certo angolo.



Parallasse di P

Tale angolo corrisponde al doppio della parallasse. (1) Quanto più piccolo esso è, tanto maggiore è la distanza della stella. Come unità di misura si prende quella di 1'' di angolo (= parallasse-secondo = parsec)

Un parsec corrisponde alla distanza di 3,26 anni luce.

Il cielo stellato.... (A)



Quando si osserva il cielo stellato si vede letteralmente il passato.

Una stella che sia distante 1000 anni luce, ci indica le condizioni in cui si trovava 1000 anni fa. Oggi, essa potrebbe essere spenta, od anche esplosa...

Classificazione delle stelle (B)

Gli astronomi Hertzsprung e Russel classificarono le stelle in base alle loro dimensioni assolute e al loro colore.

Per grandezza le stelle variano da nane fino a supergiganti; per colore dall'azzurro fino al rosso. Le stelle rosse sono le più “fredde”, con una temperatura superficiale di 3000° , quelle blu superano i $20\,000^{\circ}$. (1)

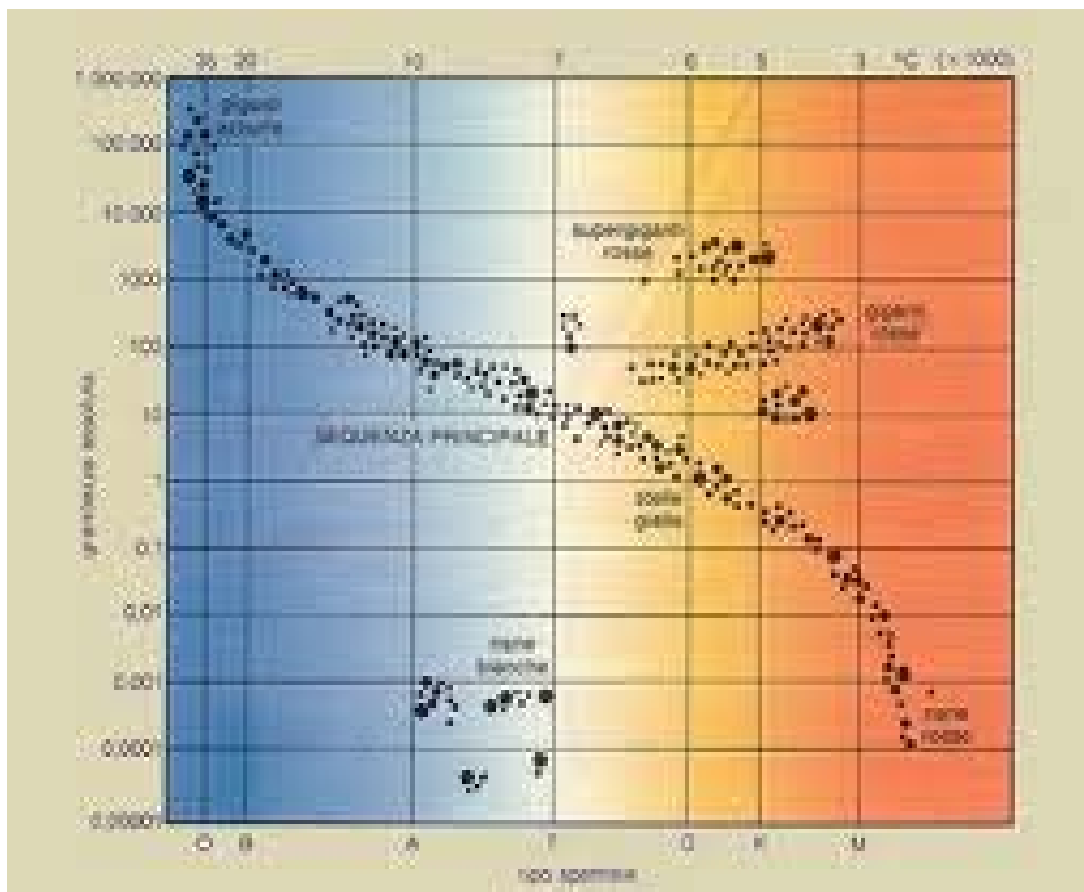


Diagramma di Hertzsprung – Russel (2)



Le stelle più vicine (B)

Nel raggio di 17 anni – luce sono visibili ad occhio nudo 10 stelle, oltre al Sole.

Nella tabella vengono indicate le 5 stelle più vicine alla Terra.

La luminosità apparente di una stella dipende dalla sua lumino-

sità intrinseca (magnitudo reale) e dalla sua distanza dalla Terra (1). Le stelle più luminose vengono classificate di I grandezza, quelle appena visibili ad occhio nudo di VI grandezza. Dopo il Sole, è Sirio la stella più luminosa che vediamo nel cielo.

Stella	Distanza (in anni-luce)
Alfa Centauri	4,4
Sirio	8,6
Epsilon Eridani	10,5
Prozione	11,4
61 Cygni	11,4

La nascita delle stelle (A)

Nello spazio interstellare, il gas d'idrogeno, assieme ed altre polveri, è molto rarefatto (1) (2). Talvolta può addensarsi, per caso o per urto determinato da esplosioni di stelle circostanti, diventando il nucleo di quella che sarà una nuova stella.

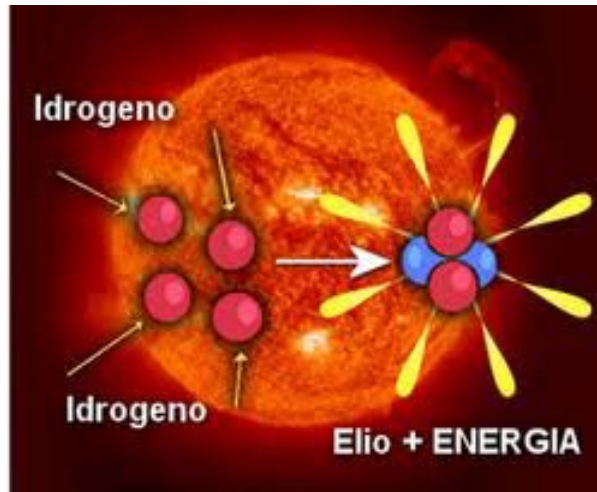


La nascita di una stella

La massa centrale attirerà per gravitazione tutto il materiale circostante, con compressione e forte aumento della temperatura (protostella).

Quando questa supera i 10 milioni di gradi, si innescano *reazioni di fusione nucleare*, con emissione di luce e calore. E' nata una stella.

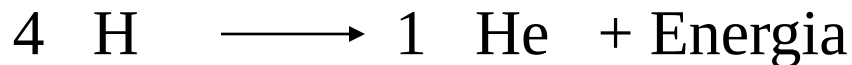
La vita adulta di una stella (I) (A)



A temperature superiori a 10 milioni di gradi il movimento degli atomi è talmente violento che essi si possono scontrare e compenetrare tra loro (fusione nucleare).

In queste condizioni l'idrogeno, che è l'elemento fondamentale presente nella stella, si

trasforma in elio, secondo la reazione:



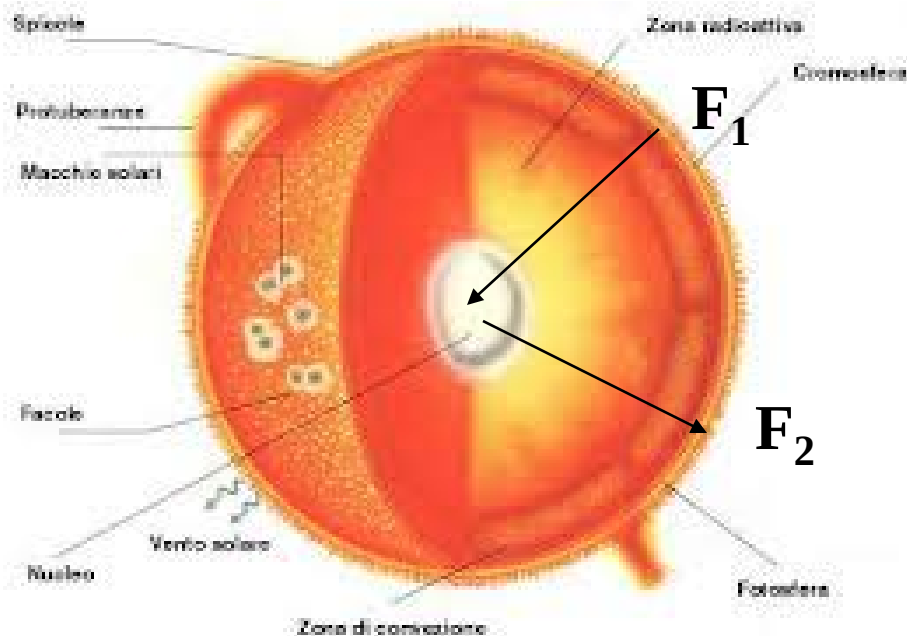
Tuttavia, rispetto ai 4 atomi di H, l'elio subisce una piccola diminuzione di massa, che si trasforma in una enorme quantità di energia, che viene diffusa nello spazio in forma di onde elettromagnetiche, in particolare come luce e calore. Questo secondo la nota formula di Einstein:

$$\mathbf{E} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{c}^2$$

dove **E** rappresenta l'energia prodotta, **m** la massa scomparsa e **c** la velocità della luce.

La vita adulta di una stella (II) (A)

Una stella può rimanere in queste condizioni per miliardi di anni. La forza espansiva data dall'emissione di energia viene equilibrata dalla forza gravitazionale diretta verso il centro: il volume della stella rimane costante.



Stella in equilibrio: le forze di radiazione dirette all'esterno (F_2) sono bilanciate dalla forza gravitazionale (F_1), diretta al centro.

Nel caso di stelle medio-piccole come il Sole, la stella può rimanere in tale situazione di equilibrio per 10 miliardi d'anni, distribuendo luce e calore ai pianeti in misura pressoché costante. Le stelle più grandi hanno invece vita più breve, perché “bruciano” il materiale più in fretta.(1)

La fine delle stelle piccole e medie (A)

Tra 5 miliardi di anni (1), a seguito delle fusioni nucleari, nel Sole l'elio ed altri elementi diventeranno molto più frequenti, innescando reazioni nucleari con emissioni di molta più energia. Il Sole si gonfierà diventando una stella gigante rossa. (2)



La vita del Sole

In questa forma si manterrà per tempi più brevi. Poi si spegnerà, contraendosi per le forze gravitazionali fino a diventare un corpo molto piccolo a densità molto elevata: una stella nana bianca.

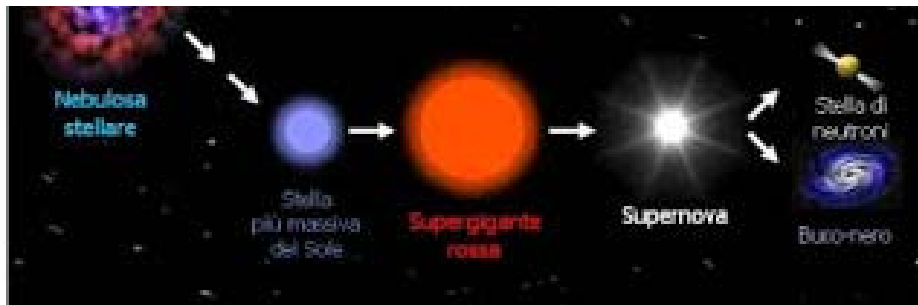


Stella nana bianca

Questo è il destino delle stelle medie e piccole.

La vita delle stelle giganti (B)

Le stelle giganti, con massa almeno 3 volte quella del Sole, subiscono un destino diverso. La durata media della loro esistenza in fase di equilibrio è molto più breve. La maggiore massa produce infatti temperature più elevate, con accelerazione delle fusioni nucleari.



Fasi dell'evoluzione di una stella gigante blu

Una stella supernova aumenta di luminosità di migliaia di volte rispetto a prima, tanto che ad occhio nudo può apparire in cielo come una stella nuova, precedentemente non visibile.

Dopo essersi gonfiate, formando una supergigante rossa, esplodono dando origine a una supernova.



A destra una stella supernova

La fine delle stelle giganti (B)



Stella a neutroni

Mentre la parte esterna della supernova viene proiettata nello spazio, il nocciolo interno si comprime, fino a che gli elettroni si uniscono con i protoni, formando neutroni (stella a neutroni). In queste condizioni 1 cm^3 di materia pesa 100 milioni di tonnellate.

La stella a neutroni emette energia sotto forma di intense onde elettromagnetiche. Se le radiazioni sono rivolte verso la Terra, possono essere percepite dai radiotelescopi come emissioni pulsanti (pulsar), in modo simile al fascio di luce di un faro. (1) Quando l'energia sarà esaurita, la stella si spegnerà, formando un piccolo corpo oscuro.



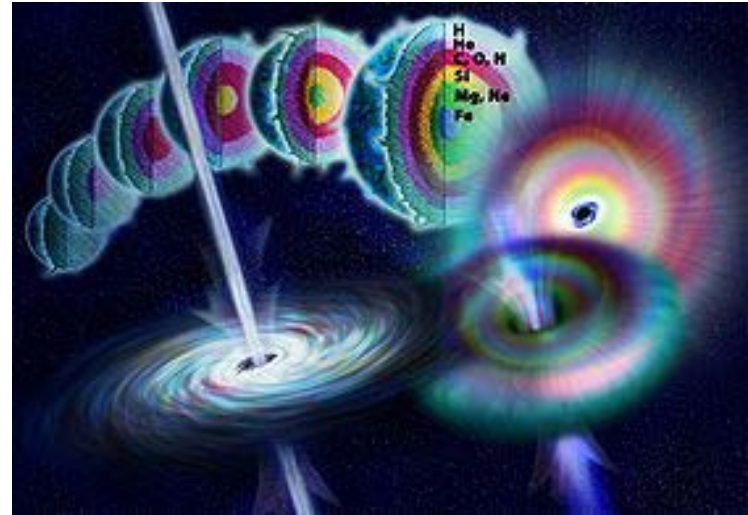
Una pulsar

La vita di una stella supergigante (A)

Una stella viene considerata supergigante quando ha una massa almeno 10 volte superiore a quella del Sole. In tal caso si consuma in un periodo di tempo 100 volte più breve: 100 milioni di anni.

Analogamente ad una stella gigante, diventa prima una

supergigante rossa, poi esplode come supernova, mentre la parte centrale diventa talmente compatta da generare un oggetto con caratteristiche incredibili: un buco nero.



**L'esplosione di una supernova
può portare a un buco nero**

Un oggetto misterioso: il buco nero (B)

Nei buchi neri la materia è talmente compatta che la forza di gravità impedisce perfino alla luce di uscire. Essi deviano quindi i raggi luminosi che passano nelle loro adiacenze e li possono catturare. Funzionano quindi come trappole per la luce, oltre che per tutti gli altri oggetti materiali.



Un buco nero

Date queste caratteristiche, non è possibile osservare direttamente un buco nero. Ma se una stella gli passa vicino, la sua orbita verrà deformata, parte della sua atmosfera gassosa verrà attirata dal buco, cadendo nel suo interno ed emettendo raggi X.

La Via Lattea (A)



La Via Lattea

Se osserviamo il cielo in una notte serena e senza luna, vediamo una lunga striscia luminosa che lo attraversa tutto.

Gli antichi greci la denominarono: Via Lattea.

Scrutando la Via Lattea col suo cannocchiale, Galileo comprese che essa era formata da nume-

rosissime stelle, troppo distanti per essere individuate singolarmente ad occhio nudo.

Le altre Galassie (A)

Osservando la costellazione di Andromeda, si può vedere in essa una macchiolina luminosa.

Un telescopio permette di constatare che essa è un enorme disco, formato da miliardi di stelle, con un diametro di 100 000 anni luce.



La galassia di Andromeda

In tutto l'universo le stelle sono raggruppate in questi enormi ammassi, detti **galassie**. Tra una galassia e l'altra ci sono enormi spazi, dove regnano il vuoto e il buio... Ogni galassia può contenere centinaia di miliardi di stelle e sono stati individuati miliardi di galassie.

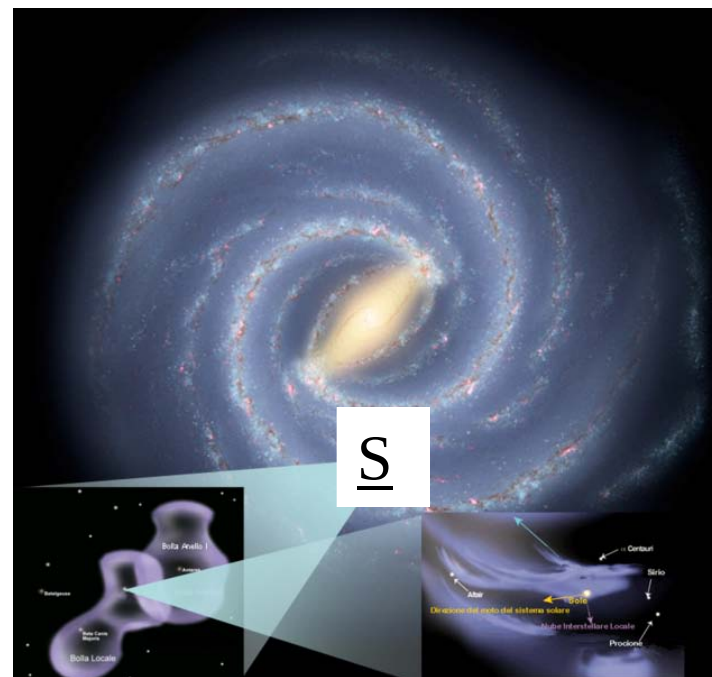
Il sistema solare nella via Lattea (A)

La galassia in cui noi ci troviamo è la Via Lattea.

Il sistema solare non si trova al centro della Via Lattea, ma in uno dei suoi bracci laterali, a circa 30 000 km dal nucleo centrale.

Le stelle che noi vediamo appartengono tutte alla nostra Galassia, le più vicine (entro 1000 anni luce) come punti distinti,

le più lontane come luminosità diffusa, a forma di striscia, perché anche la nostra galassia, come quella di Andromeda, ha un aspetto a disco.



**Posizione del Sistema solare (S)
nella Via Lattea**

Caratteristiche delle galassie (A)



Una galassia

Le galassie sono ammassi formati da centinaia di miliardi di stelle. Hanno la forma a disco, col nucleo formato da stelle più addensate, e la periferia spesso costituita da bracci. Ruotano lentamente attorno al nucleo.

Le galassie si raccolgono spesso in superammassi. Il Superammasso Locale è costituito dalla Via Lattea, dalla galassia di Andromeda, dalle nubi di Magellano, ... :Le dimensioni di una galassia sono enormi, fino a 100 000 anni luce. La distanza tra una galassia e l'altra può essere di 1 milione di anni-luce.

Classificazione delle Galassie (B)



Galassia ellittica



Galassia a spirale

Le galassie sono state classificate in base alla loro forma.
E' possibile che le galassie passino dalla forma ellittica alla forma a spirale.

Esistono anche altre galassie con forma atipica.

Non esiste ancora una teoria completa che spieghi l'origine delle galassie o la loro fine.

Quante sono le Galassie? (B)



E' difficile dire quante siano le galassie: con i moderni strumenti di osservazione ne è stato scoperto qualche centinaio di miliardi.

Galassie nell'universo

Le distanze tra le galassie sono enormi, di milioni di anni-luce. Nonostante ciò, è possibile che talvolta ci siano interferenze o scontri tra le varie galassie.

I fenomeni collegati con lo scontro sono generalmente impercettibili, poiché la densità della struttura galattica è molto bassa, con gli astri molto distanziati.



Interazioni tra galassie

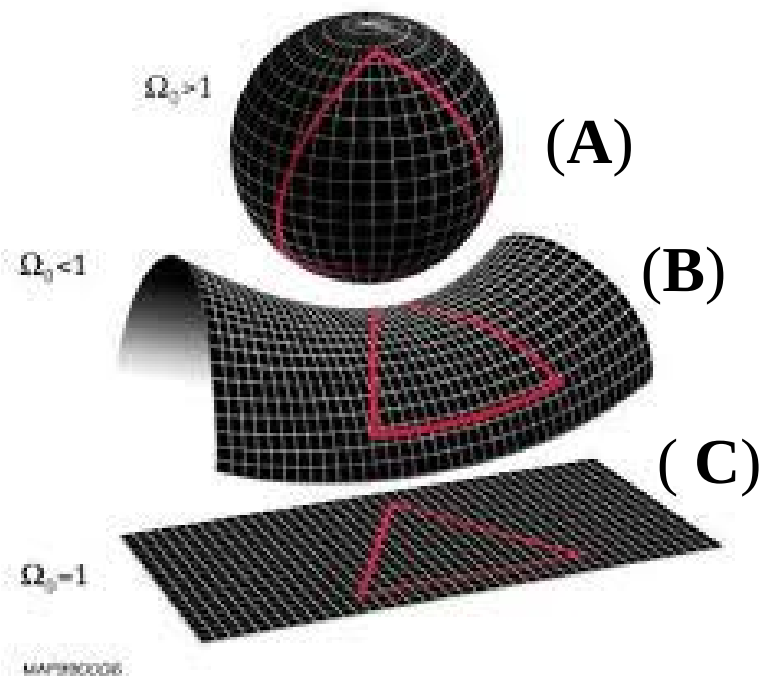
Universo statico o dinamico? (A)



Un' importante domanda riguarda le condizioni dell'universo: “Il Cosmo è fondamentalmente stabile e invariato nel tempo oppure si è trasformato e si trasforma tuttora?”

Nel modello tolemaico i vari astri erano fissati su sfere trasparenti, ed avevano movimenti fissi ed invariabili. Ma anche nel modello copernicano non vi erano modificazioni nel cielo, fino alla sfera delle stelle. Entrambi i modelli consideravano quindi l'universo immutabile nel tempo.(1)

Universo finito o infinito? (C)



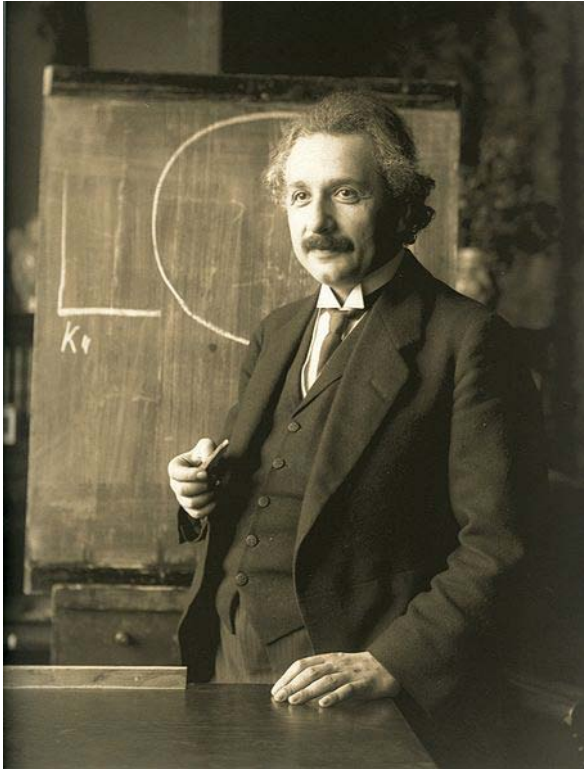
Secondo le geometrie moderne lo spazio può essere curvo positivamente (A), oppure curvo negativamente (B), oppure piatto (C).

Nel primo caso (A) l'universo sarebbe finito, un po' come la superficie della Terra, finita e illimitata, dove, andando sempre nella stessa direzione, si ritorna al punto di partenza.

Negli altri due casi l'universo sarebbe infinito e illimitato.

Attualmente gli astronomi ritengono che lo spazio sia presumibilmente piatto, simile quindi a quello della geometria euclidea, e perciò infinito. (1)

L'universo di Einstein (C)



Albert Einstein

All'inizio del Novecento (1915) il grande scienziato Albert Einstein sviluppò la teoria della Relatività Generale. Questa teoria considerava l'universo costituito da 4 dimensioni equivalenti (cioè dalle tre dimensioni spaziali e dalla dimensione tempo). Come conseguenza di questa teoria risultava che l'universo si trovava in una condizione instabile, per cui avrebbe dovuto o crescere o diminuire di volume.

Siccome Einstein credeva che l'universo fosse statico, aggiunse alle sue equazioni una costante cosmologica in modo che il volume dell'universo rimaneva invariato.

L'universo di Fridmann (C)

Il fisico russo Alexander Fridmann ebbe più fiducia dello stesso Einstein sugli esiti a cui portava l'applicazione della teoria della relatività.

Negli anni 1922 e 1924 pubblicò due lavori da cui risultava che l'universo doveva espandersi oppure contrarsi.

Le sue teorie vennero confermate dalle osservazioni al telescopio di Hubble: le galassie si allontanavano da noi confermando l'espansione dell'universo.

Einstein riconobbe che l'aggiunta della costante cosmologica fu il suo più grave errore nell'attività di ricercatore.



A. Fridmann

Le scoperte di Hubble (A)



Il telescopio di M. Palomar
(California, U.S.A.)

Negli anni Venti, col più potente telescopio al mondo appena costruito, Edwin Hubble scoprì che le macchioline luminose presenti nel cielo (galassie) erano ammassi di molti miliardi di stelle e che nell'universo esistevano miliardi di galassie. Ma scoprì anche che le galassie si allontanavano molto velocemente da noi.



E. Hubble

L'effetto Doppler (I) (C)

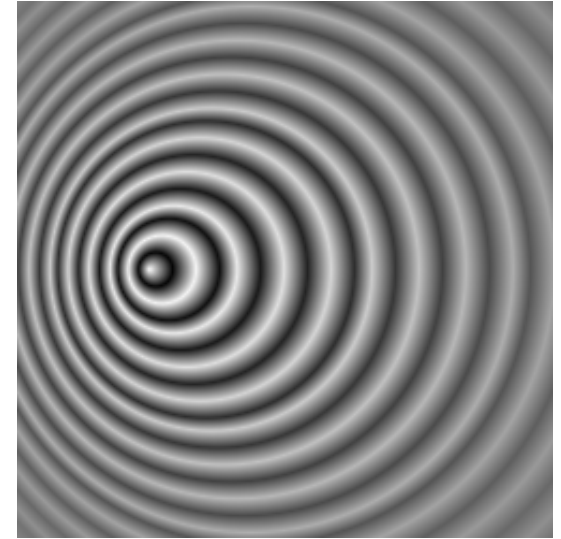
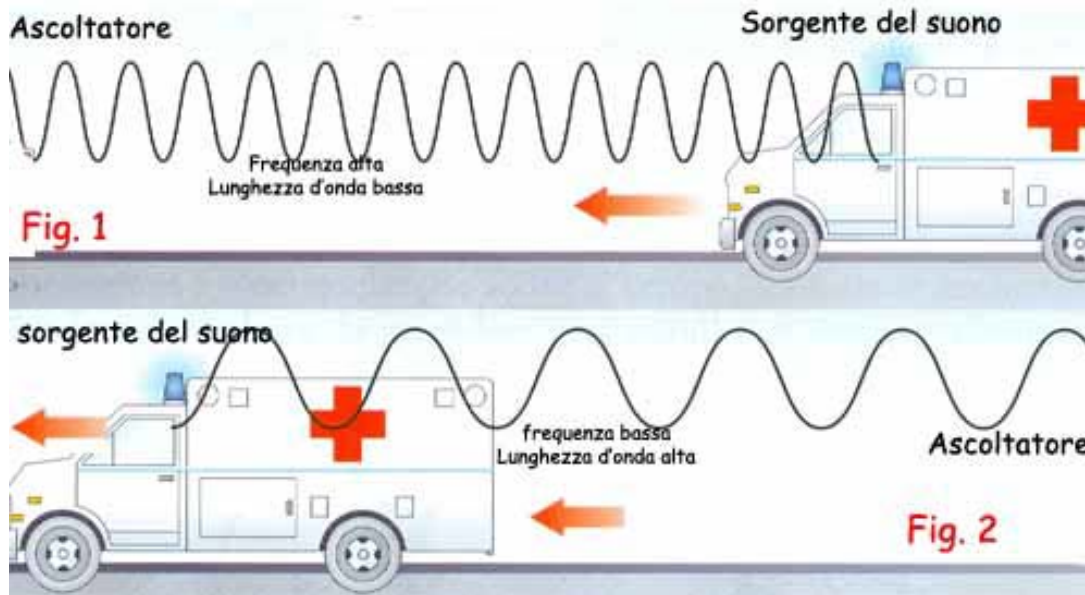


Fig. 3

La sirena di un'ambulanza si avvicina, passa vicina a noi e poi si allontana. Il suono, che all'avvicinarsi della vettura è più acuto, diventa più grave quando essa si allontana.

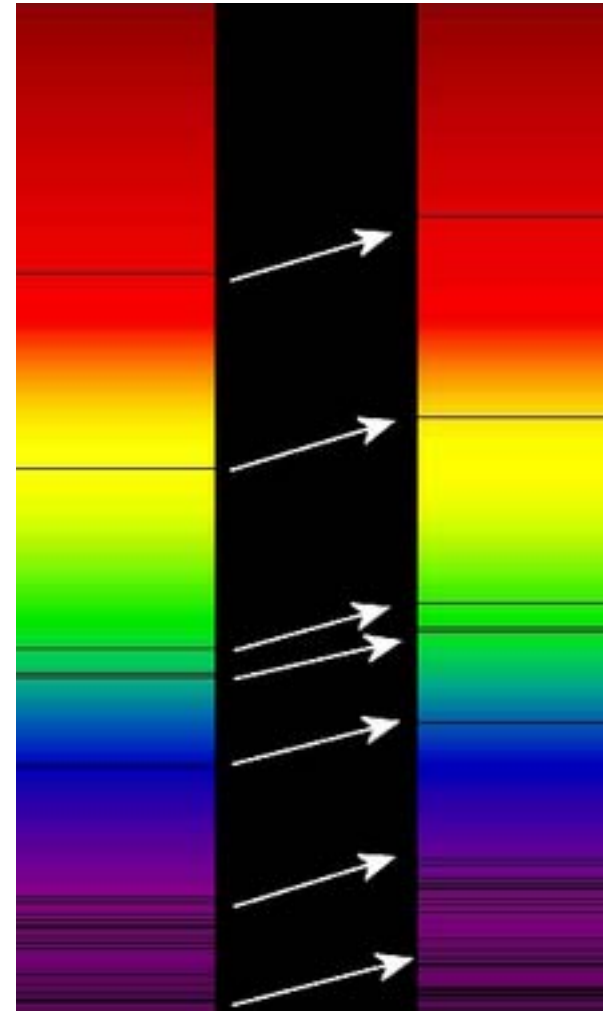
Questo fenomeno, che si verifica ogni volta che una sorgente sonora è in movimento rispetto a un ascoltatore, si chiama effetto Doppler (1). Infatti, se la sorgente del suono si muove, le onde sono più ravvicinate nella direzione del movimento (= suoni acuti), più distanziate dalla parte opposta (= suoni gravi) (vedi fig. 3).

L'effetto Doppler (II) (C)

Un fenomeno simile si verifica anche per la luce.

Facendo passare la luce solare attraverso un prisma di vetro si ottiene uno spettro ottico con colori che dal rosso vanno al violetto. Vi sono tuttavia una serie di linee scure (linee spettrali) in posizioni particolari, determinate dall'assorbimento da parte dell'atmosfera solare di determinati livelli di energia.

Se lo spettro è spostato verso il blu, la sorgente luminosa è in avvicinamento rispetto all'osservatore, se è spostato verso il rosso è in allontanamento.



A destra le linee spettrali di riferimento sono spostate verso il rosso.

L'universo in espansione (A)

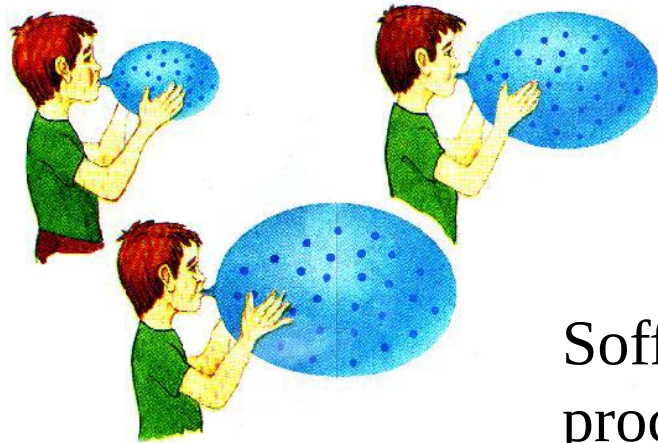


Osservando le varie galassie, l'astronomo Hubble notò che quasi tutte avevano gli spettri di luce deviati verso il rosso, tanto più quanto più erano distanti.

In altre parole, le galassie si allontanavano da noi con una velocità direttamente proporzionale alla loro distanza (legge di Hubble, 1929)

L'universo ha un centro? (A)

Dalle osservazioni astronomiche di Hubble si potrebbe pensare che tutte le galassie si allontanano da noi (cioè dalla Via Lattea), per cui noi dovremmo trovarci al centro dell'universo.



Questa opinione è errata, perché vedremmo le stesse cose trovandoci su una qualsiasi altra galassia. Una piccola esperienza può chiarire questa affermazione.

Soffiando in un palloncino si distanziano reciprocamente tutti i punti dipinti su di esso. Ogni punto rappresenta una galassia. Da quello tutti gli altri si allontanano, tanto più quanto più distanti erano fin dall'inizio. (1)

Il modello illustra quindi come non esista né una galassia privilegiata né un centro dell'universo.

La struttura dell'universo: la teoria dello stato stazionario (C)

Questa teoria, sviluppata da F.Hoyle ed altri (1948), partiva dalla posizione filosofica per cui il nostro punto di osservazione non è particolare né nello spazio né nel tempo.

L'universo, su larga scala, doveva quindi essere eterno ed immutabile.

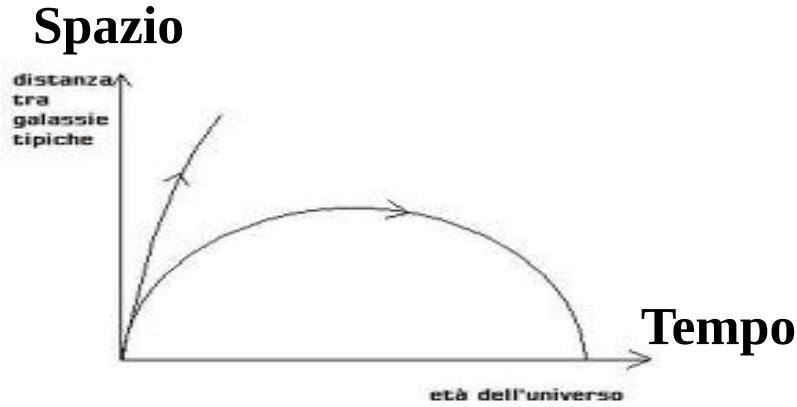


Per mantenere invariata la densità complessiva del cosmo bisognava quindi supporre che venisse creata continuamente nuova materia, ma questo postulato non venne mai verificato.

Venne invece osservato che nelle zone più lontane le galassie avevano un aspetto più “primitivo”; nel 1964 venne scoperta una radiazione cosmica prevista da un'altra teoria, quella del Big Bang.

Oggi la teoria dello stato stazionario ha un valore prevalentemente storico.

La struttura dell'universo: la teoria del Big Bang (A)



Circa 13,7 miliardi di anni fa l'universo era contenuto in uno spazio limitatissimo, con temperature e densità che tendevano all'infinito. (1)

L'esplosione (denominata “Big Bang”) di questo nucleo primordiale avvenne in tempi brevissimi. (2) Nei primi minuti la forza originaria si separò nelle 4 forze oggi esistenti, si generarono i quark e le particelle subatomiche, poi i primi nuclei atomici degli elementi più leggeri. Più tardi (300 000 anni dopo), si stabilizzarono i primi atomi e la materia quale noi conosciamo.

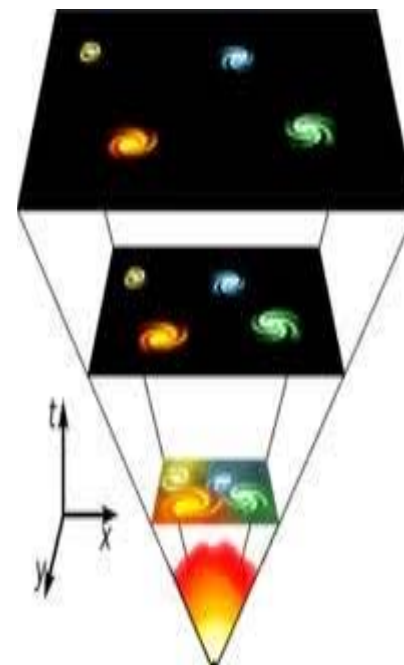


La teoria del Bing Bang (II) (B)

Solo dopo un miliardo di anni sarebbero apparse le protostelle, le stelle, gli atomi degli elementi più pesanti (partendo dall'idrogeno e dall'elio) e le prime galassie.

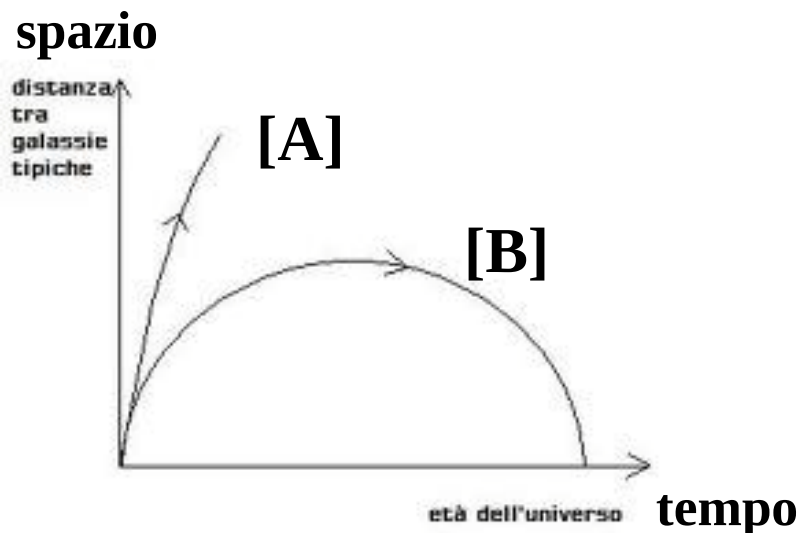
In tutti questi processi di trasformazione l'universo continuava a dilatarsi e a raffreddarsi.

Mentre un tempo si pensava che la velocità di allontanamento tra le galassie fosse in fase di riduzione, le misure attuali (1998) indicano invece che essa sta crescendo (1). Come indicato nello schema della slide precedente, a un periodo iniziale di enorme crescita del cosmo (2) ne sta seguendo un altro, con un aumento più limitato, ma comunque in crescita, della velocità di espansione. (3)



**Schema semplificato
dell'espansione galattica**

Il futuro dell'universo (A)



Per il futuro dell'universo due sono gli esiti fondamentali possibili.

1°) Le forze di espansione saranno sempre prevalenti su quelle gravitazionali: l'universo continuerà ad espandersi all'infinito, diventando

sempre più freddo, più buio e privo di energia. **[A]**

2°) Oppure, raggiunto un volume massimo, le forze gravitazionali diventeranno prevalenti, e l'universo comincerà a contrarsi e a riscaldarsi, fino a ritornare alla situazione iniziale (Big Crunch). **[B]**

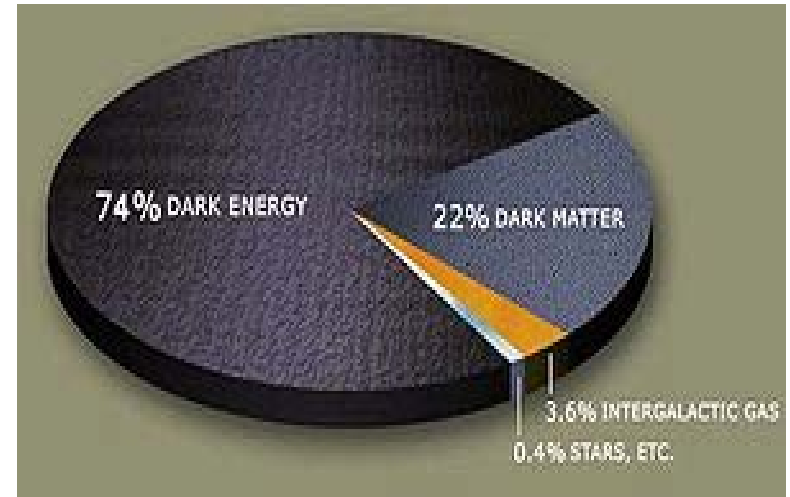
Questo potrebbe essere l'avvio di un nuovo universo. (1) Secondo questa ipotesi potrebbe anche esservi una infinita sequenza di universi oscillanti.

L'aumento di velocità di espansione delle galassie misurato attualmente dagli astronomi fa ritenere più probabile la prima ipotesi.

Materia ed energia oscura (C)

Fino a qualche anno fa si riteneva che l'universo fosse composto da materia visibile e dall'energia ben nota nelle varie forme.

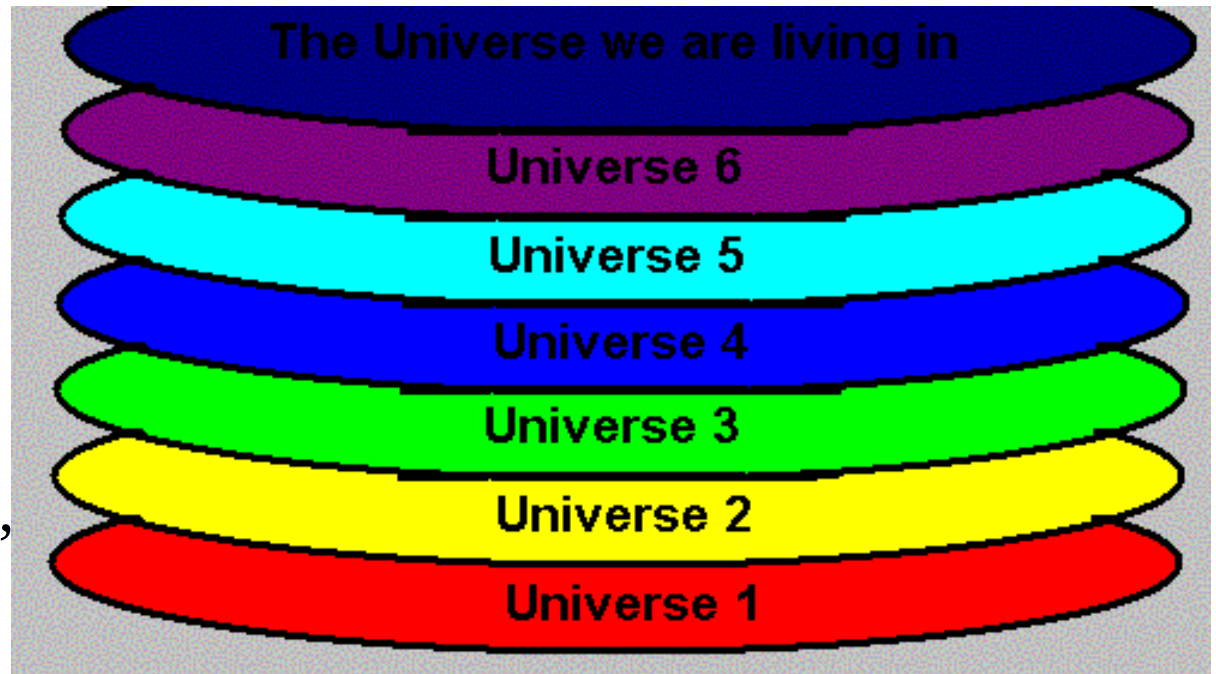
Negli ultimi anni è stato scoperto che queste componenti costituiscono l'universo per una percentuale ben inferiore al 10%. Il resto sarebbe costituito da materia oscura (cioè non luminosa), per il 22%, e da energia oscura (74%). Quest'ultima sarebbe considerata la causa che genera l'enorme espansione dell'universo. Questi concetti sono molto nuovi e richiedono di essere ancora approfonditi dai fisici.



I componenti dell'universo

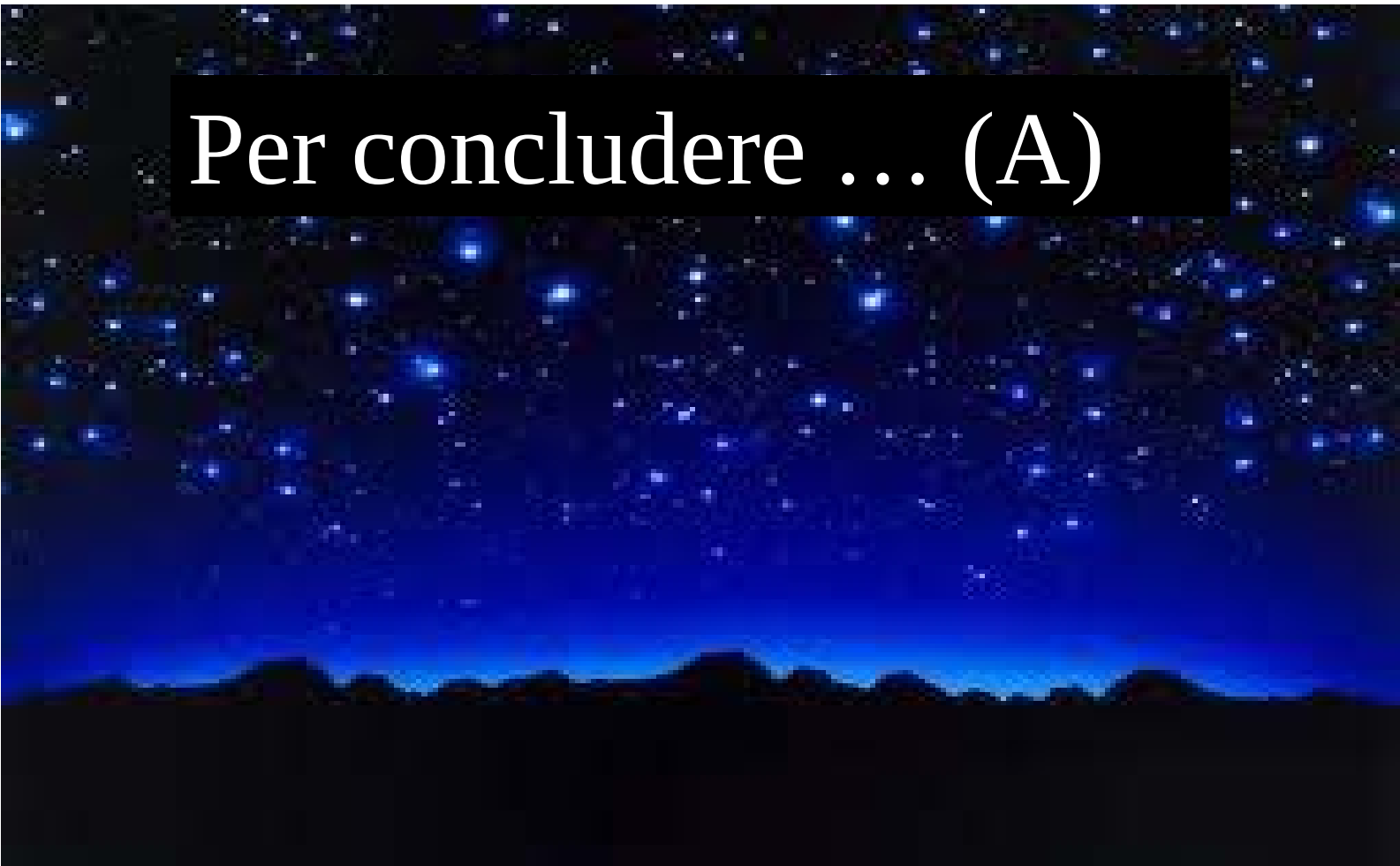
Un solo universo o più universi? (multiverso) (C)

Alcuni scienziati hanno fatto anche l'ipotesi che esistano numerosi universi al di fuori del nostro (= Universi paralleli), che complessivamente potrebbero costituire un multiverso.



Tali universi, anche con leggi fisiche diverse, sono stati ipotizzati soprattutto per spiegare fenomeni della meccanica quantistica. (1)

Ma questi ipotetici universi non sono comunicanti col nostro, quindi non sarà possibile sapere come sono fatti, rimanendo misteriosi ed estranei ad ogni indagine scientifica.



Per concludere ... (A)

L'osservazione del cielo stellato può portarci a riflessioni e a emozioni diverse di fronte allo sterminato mistero del cosmo. Scrutando il cielo abbiamo imparato a conoscere molte cose, mentre molte altre ci restano ancora sconosciute.