

# PIU' VELOCE DELLA LUCE

Jean-Pierre Petit

2008

tradotto da:  
Elena Zanin



# Conoscenza senza frontiere

Associazione senza scopo di lucro creata nel 2005 e gestita da due scienziati francesi. Obiettivo: diffondere la conoscenza scientifica utilizzando la banda tracciata attraverso i PDF scaricabili gratuitamente. Nel 2020 sono state così realizzate 565 traduzioni in 40 lingue. Con oltre 500.000 download.



Jean-Pierre Petit

Gilles d'Agostini

L'associazione è totalmente volontaria. Il denaro è stato interamente donato ai traduttori.

Per effettuare una donazione, utilizzare il pulsante PayPal sulla home page:

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



Caro amico, la vedo turbato.  
Cosa le succede?

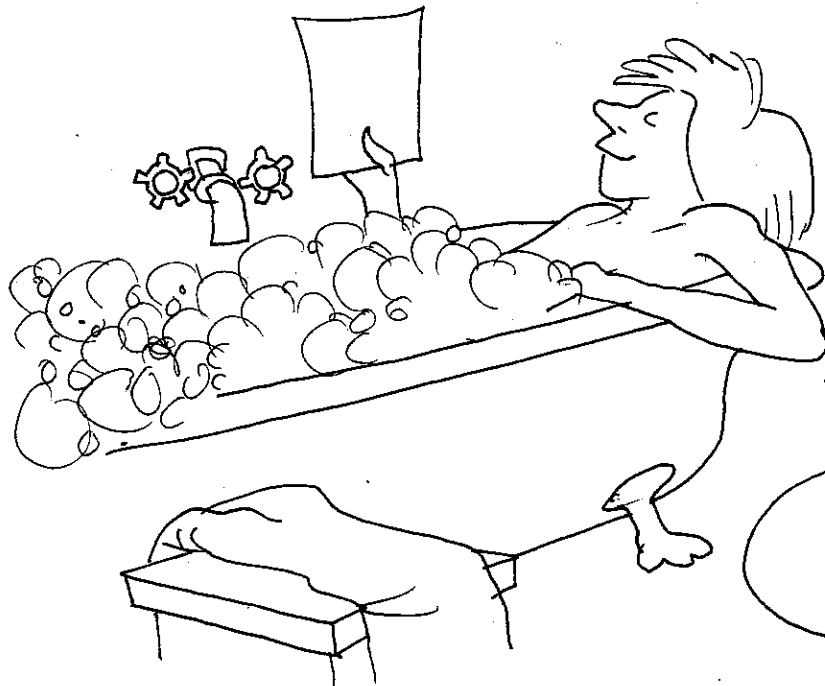


Rientro da un colloquio d'astrofisica  
non me ne parli !

Il primo punto riguardava l'espansione dell'universo.  
Hanno voluto sapere dove si producesse il detto fenomeno. Forse la terra si dilata? No ! se lo facesse si saprebbe ! Ed il sistema solare? Nemmeno ! E le galassie, sarebbero forse in espansione? Proprio per niente !

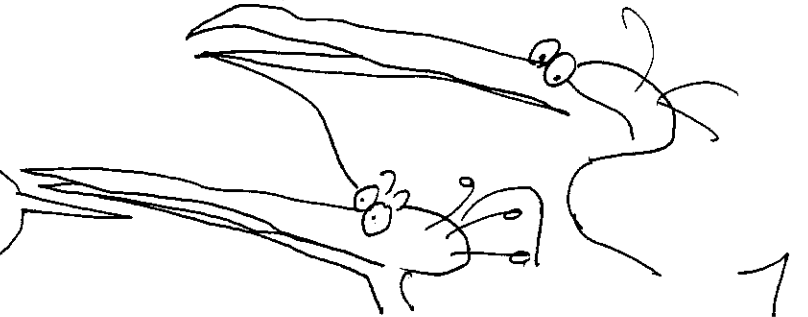


Immagino che l'Universo debba ben dilatarsi da qualche parte !?  
E' insensato !



E' al corrente che l'osservazione ci dimostra ogni anno sempre meglio che la struttura dell'Universo é **LACUNARE**.

Lacunare ?  
Cosa significa ?



Dopo aver scoperto che le galassie potevano riunirsi in **AMMASSI** come l'ammasso della Vergine o l'ammasso della Chioma, che contano migliaia di galassie, si é pensato che l'universo potesse presentare una struttura **GERARCHICA**.



Ed é cominciata la ricerca dei **SUPER-AMMASSI** degli ammassi degli ammassi etc...

E cosa si é trovato?



Cio' che é divertente, nel mondo della scienza, é che dei termini appaiano, si ingigantiscono, poi scoppino come delle bolle di sapone. C'era un tempo in cui gli astrofisici parlavano solo di super-ammassi. E poi, improvvisamente puff! sono scomparsi dal loro vocabolario!

Esattamente!


Suppongo perché non sono mai stati trovati

Gli astronomi hanno scoperto invece un luogo in cui le galassie sono raggruppate in una specie di placca, che hanno chiamato **LA GRANDE MURAGLIA** (\*)

Cio' significa che in questa "placca" si riuniscono le galassie e che tutt'attorno c'è il vuoto?



(\*) The Great Wall.



Con gli anni le osservazioni si sono affinate. Oggi si sa che le galassie, la materia, sono organizzate attorno a grandi bolle di spazio vuoto di 100 milioni d'anni luce di diametro.

E beh, allora é chiaro, il suo problema é risolto: l'espansione si effettua nelle "bolle".

Humm...allora gli ammassi di galassie, queste concentrazioni di materia, sarebbero in qualche modo dei nodi nei punti di giunzione di ogni serie di tre... bolle, Ma come si formano queste strutture?

Purtroppo, mio caro, non ne abbiamo la più pallida idea.

Ma suvvia, suppongo che deve ben esserci un modello di tutto cio'. Si fanno le cose per bene al giorno d'oggi con i computer, no ?

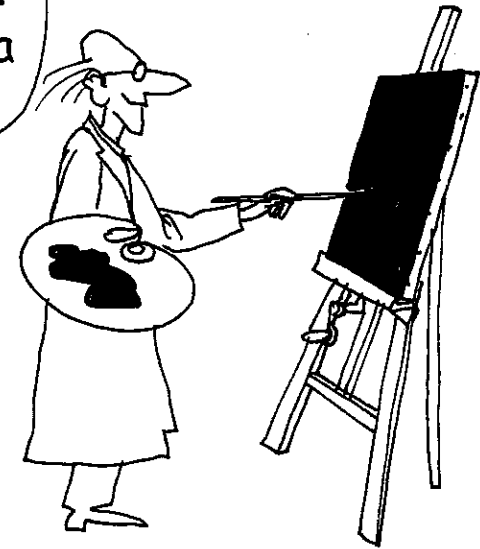
Ci sono delle persone che fanno delle simulazioni con la **MATERIA OSCURA FREDDA**, ma non sono convincenti.

Non vedo nulla.

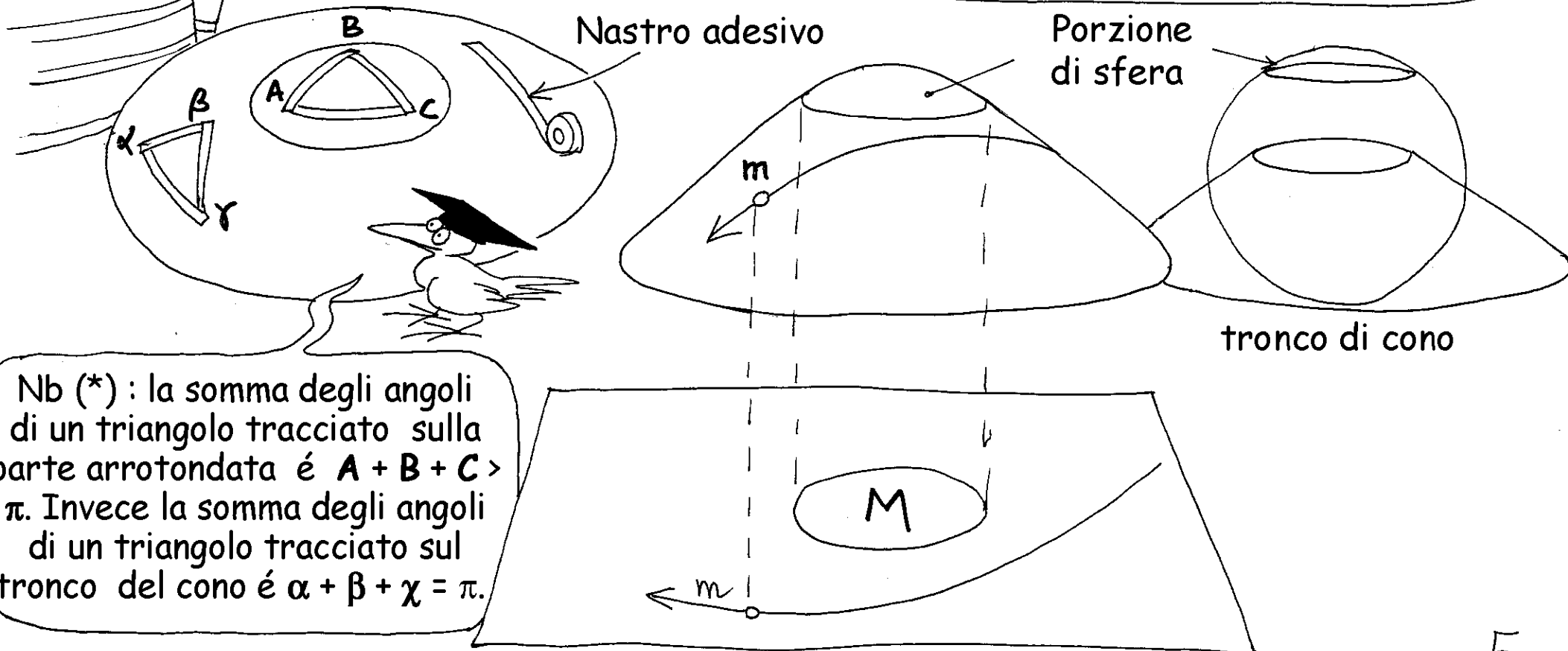
Normale, é della materia oscura

Signor Alberto, ci dica che cosa ne pensa di tutto cio'. Sono almeno vent'anni che non ci parla in queste pagine.

Ah lo so... io sono rimasto alla mia idea iniziale : sostituire le forze con della **GEOMETRIA**.



Si consideri un oggetto di massa  $M$ , una stella, un pianeta, qualsiasi cosa. Si prenda una massa  $m$  che circola in prossimità. La sua traiettoria è deflessa dalla forza attrattiva, newtoniana, che la massa  $M$  esercita su di essa. Si può rappresentare la situazione in due dimensioni con un cono dalla punta arrotondata. Con un nastro adesivo si può disegnare sulla superficie una linea **GEODETICA** che, proiettata su di un piano, ci darà la stessa traiettoria. La massa diventa allora una porzione di spazio (calotta sferica) che possiede una certa **CURVATURA**.



Nb (\*): la somma degli angoli di un triangolo tracciato sulla parte arrotondata è  $A + B + C > \pi$ . Invece la somma degli angoli di un triangolo tracciato sul tronco del cono è  $\alpha + \beta + \gamma = \pi$ .

(\*) Si veda IL GEOMETRICON, IL BUCO NERO.

Poiché **MASSA = CURVATURA**, siamo d'accordo che, se l'Universo é **LACUNARE**, vuol dire che é **COSTITUITO** da regioni di spazio 3d che presentano una curvatura, separate da regioni di spazio **NON CURVE**, piane, euclidee. E' ben così ?

Humm... é esattamente così'. Ma sarebbe ben difficile connettere delle porzioni di spazio 3d curve con delle porzioni di spazio 3d euclidee.

Certo, ma dove vuole arrivare?

Questo ragazzo non si ferma mai...

Sì, ma come nel suo schema precedente, possiamo farlo in 2d.

Guardi. Prendo una pallina da ping pong.

La divido in otto parti.

Perché otto ?



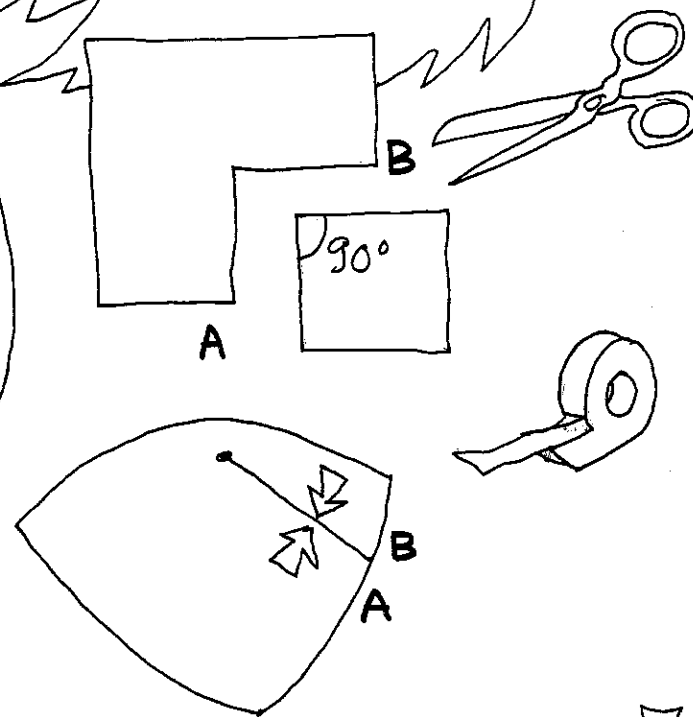
Perché un cubo ha  
**OTTO** vertici.

Non capisco...

Comincio a capire  
cos'ha in mente il  
nostro avventuriero  
della scienza

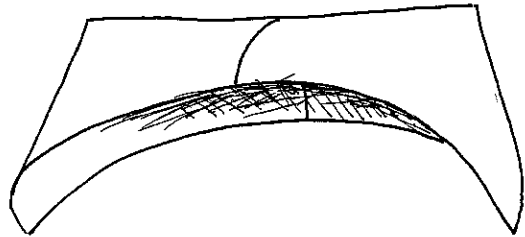


Sono questioni relative alle **CURVATURE TOTALI** che sono state descritte nel **TOPOLOGICON**. Quella della sfera è  $4\pi$ . Quindi in un ottavo di sfera c'è una curvatura parziale che vale  $4\pi/8 = \pi/2 = 90^\circ$ . La stessa cosa per un **POSICONO** costruito con un taglio di  $\pi/2 = 90^\circ$  si ottiene un **PUNTO DI CURVATURA CONCENTRATO**.

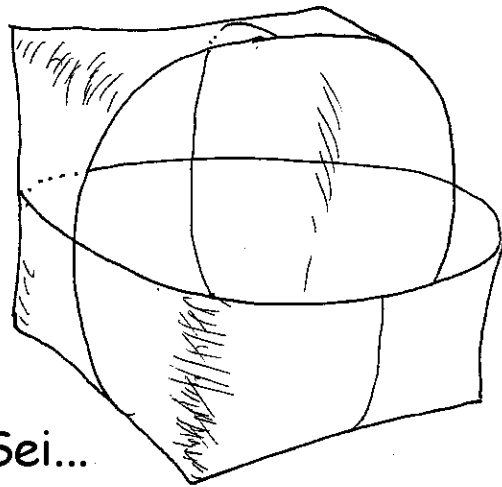
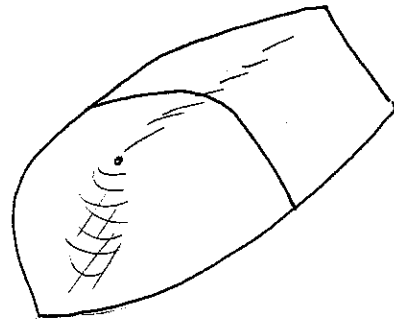


Rileggere  
**IL GEOMETRICON.**

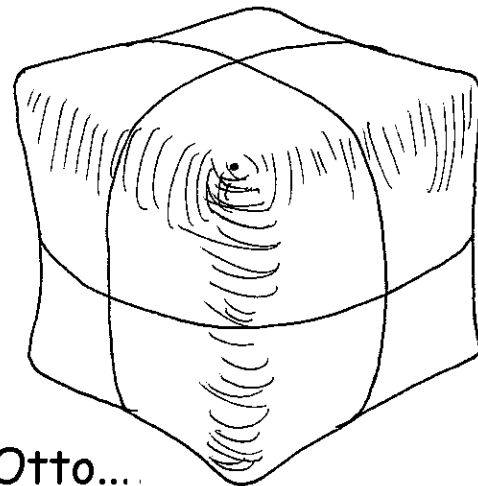
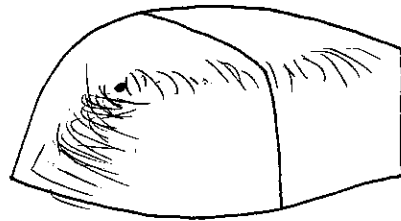
# UN CUBO SENZA SPIGOLI



Due POSICIONI riuniti



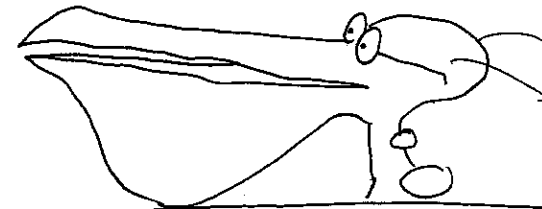
Sei...



Otto...

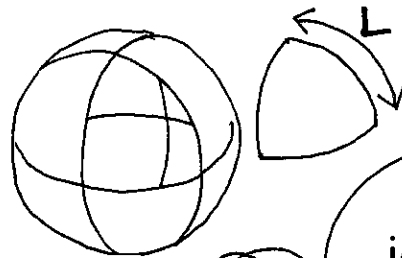
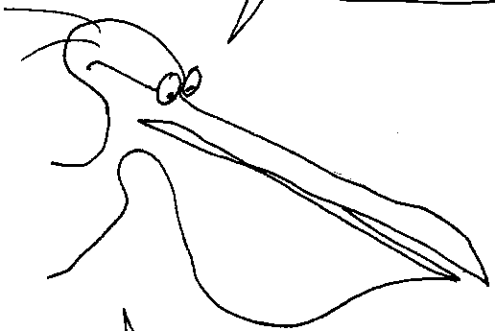


Anselmo puo' cosi' riunire  
8 punti conici, che contengono  
una curvatura concentrata  
di un valore  $\pi/2$ .



Ma dove sono gli spigoli ?

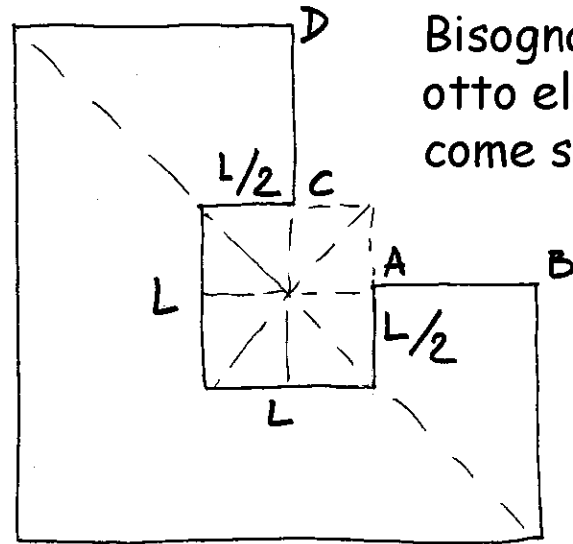
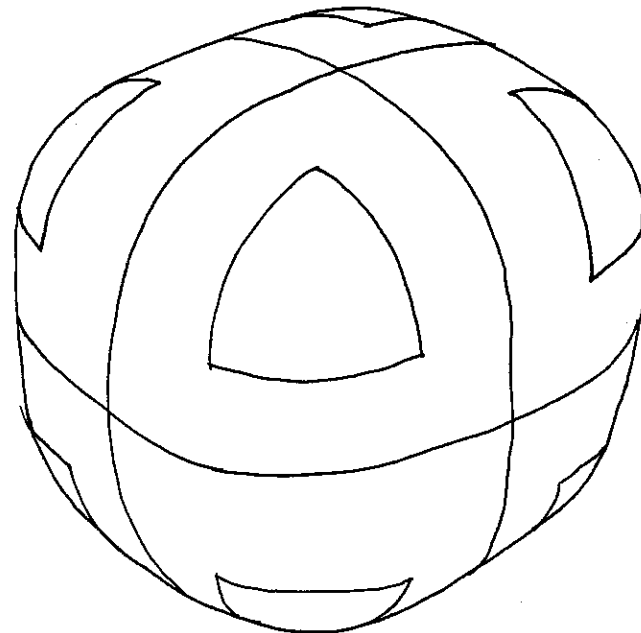
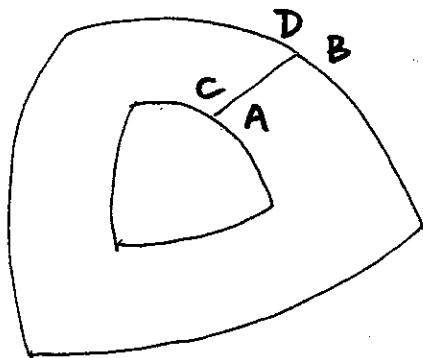
E' molto carino. Ma cosa ce ne facciamo degli ottavi della pallina da ping pong?



Ma no, io ho capito, osserva.



Devo aver perso il filo...



Bisogna preparare otto elementi come segue:

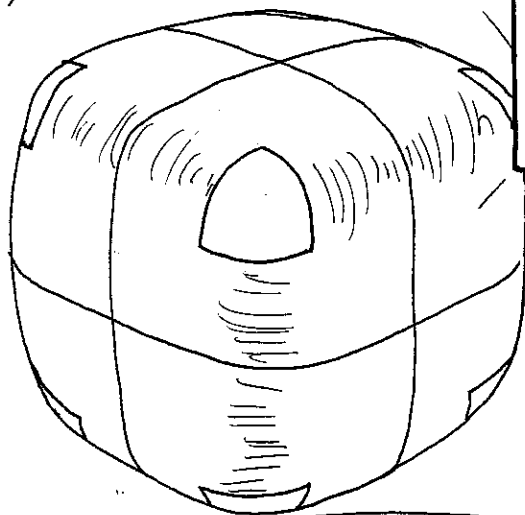
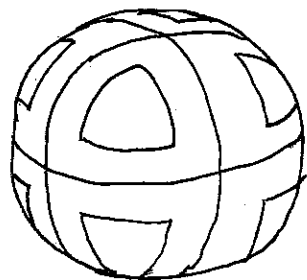
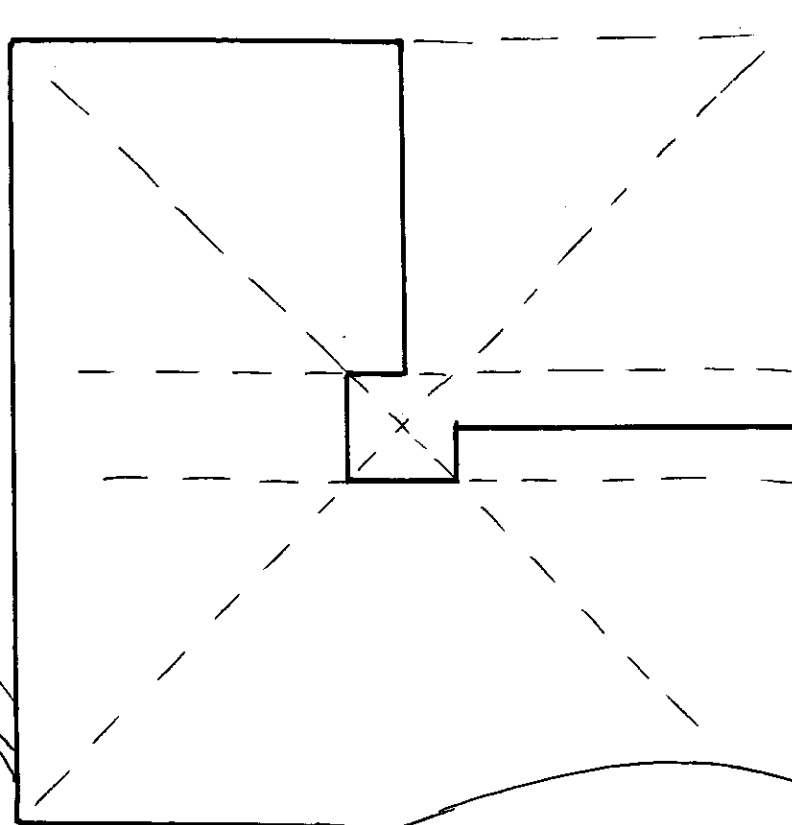
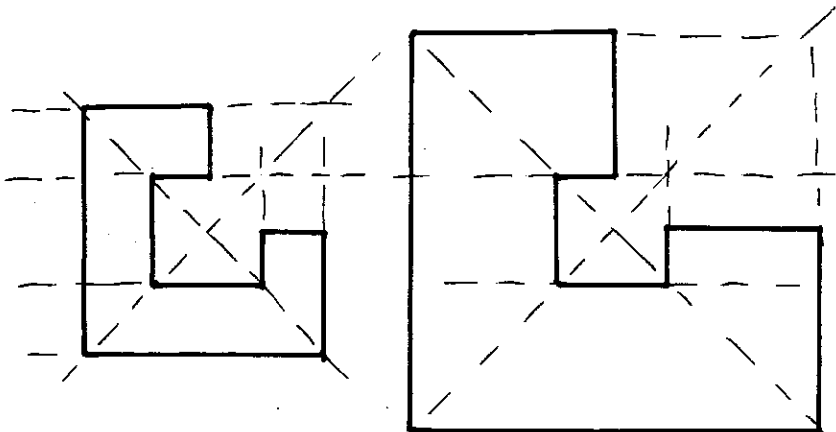
Non ci resta altro da fare che adattare gli angoli sferoidali.



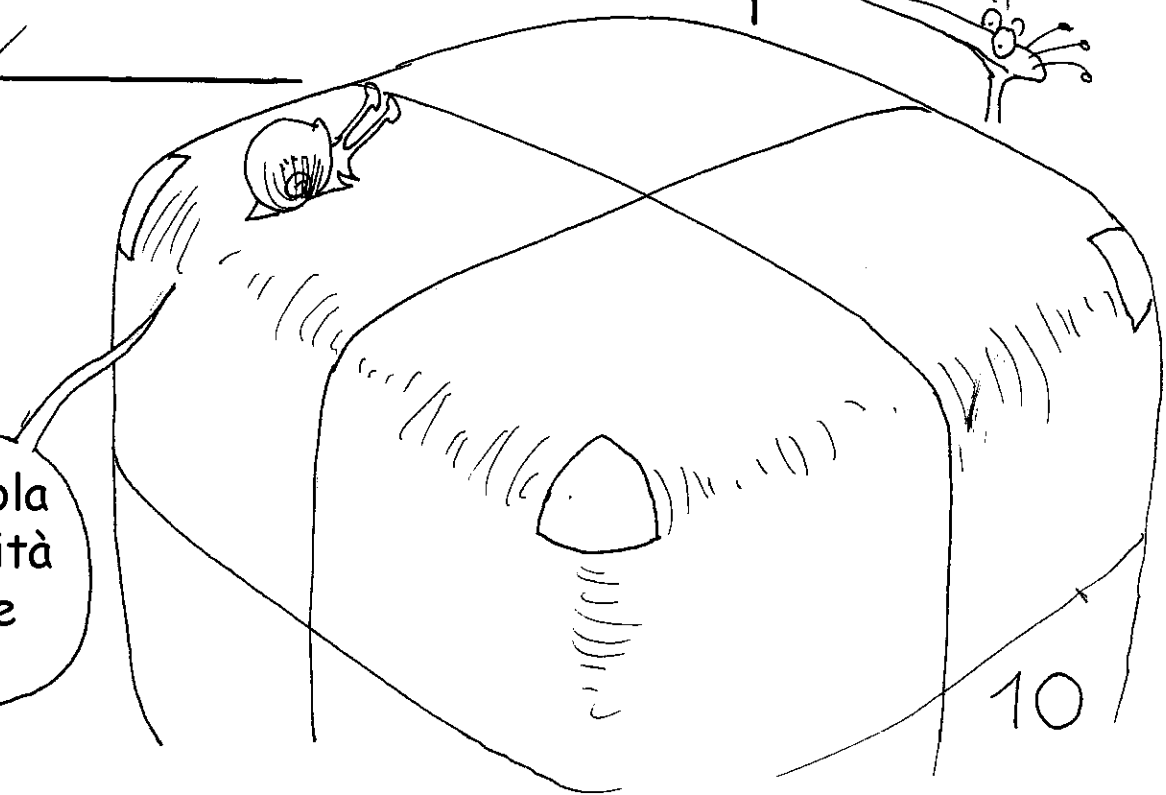
I piani tangenti si raccordano !!!

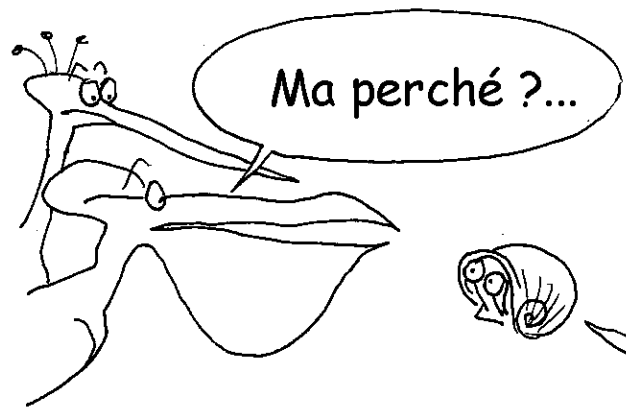
Hmmm... un colpo di fortuna.

Il fatto che il quadrato centrale  
sembri farsi piu' piccolo non é che  
un'illusione ottica.



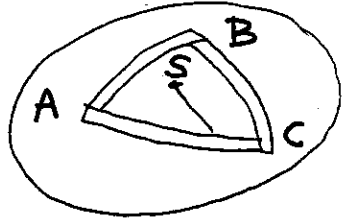
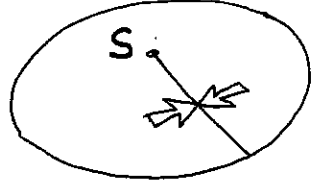
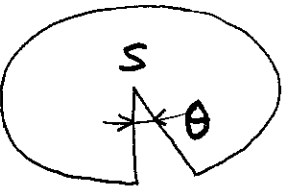
Silenzio, il circolo dei pennuti, smettiamola  
di dir stupidaggini. Avremmo una continuit   
dei piani tangenti con un qualsiasi valore  
dell'area degli otto vertici sferoidali.



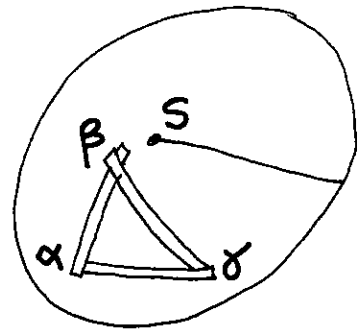


Ma perché ?...

disco

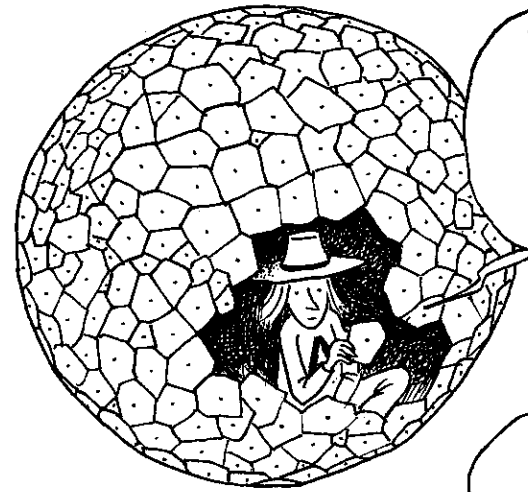


$$\hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = \pi + \theta$$



$$\hat{\alpha} + \hat{\beta} + \hat{\gamma} = \pi$$

(\* Rileggetevi i fumetti nei quali siete stato protagonista per trent'anni ! (IL BUCO NERO , pag 8 e seguenti). Avete creato un **POSICONO** praticando un taglio di un angolo  $\theta$ . Se vi tracciate un triangolo costituito da tre geodetiche, si potranno avere due diverse situazioni. Sia questo triangolo conterrà il vertice **S** del cono, allora la somma del valore degli angoli sarà  $= \pi + \theta$ , sia non lo conterrà e la somma degli angoli sarà allora la **SOMMA EUCLIDEA** che vale  $\pi$ . Se si incollano assieme due posiconi corrispondenti a dei tagli  $\theta_1$  et  $\theta_2$ , la somma degli angoli di un triangolo che contenesse i due vertici  $S_1$  e  $S_2$ , sarebbe la somma euclidea  $\pi$ , aumentata dei valori  $\theta_1 + \theta_2$



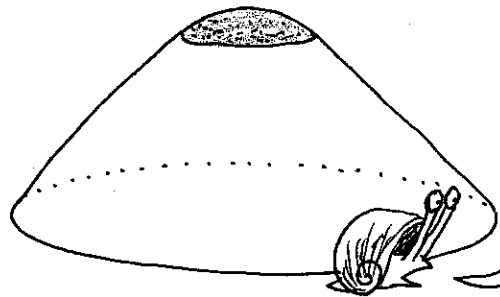
Incollando il più regolarmente possibile un numero  $N$  di microconi d'angolo  $\theta$  si constata che quando  $N \times \theta = 720^\circ$  si ottiene... una sfera

E' normale, poiché la **CURVATURA TOTALE** della sfera vale  $720^\circ$ .

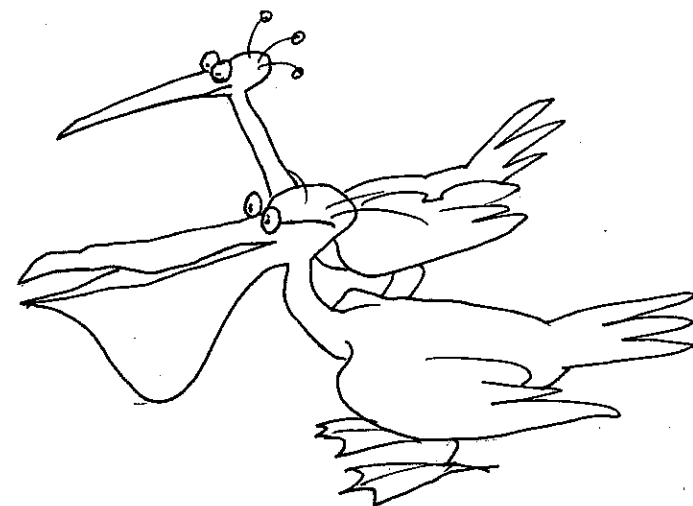
Ora puoi uscire di là, mio caro.



(\* IL BUCO NERO, pag. 9...

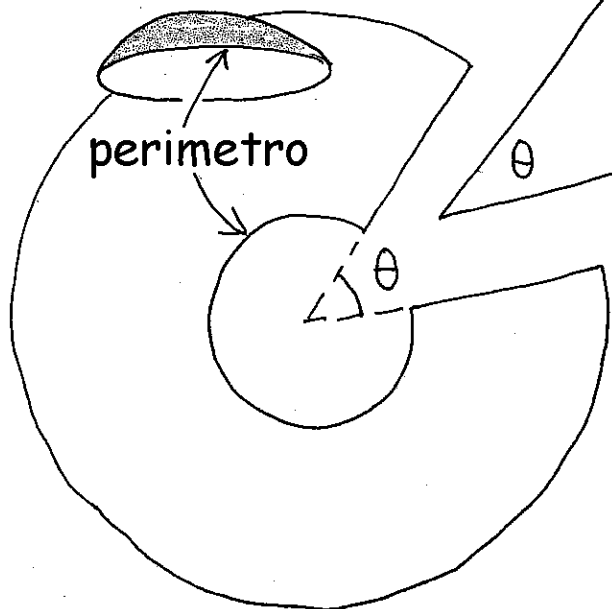


Quando si vuole mettere un qualcosa di curvo nell'euclideo, è sufficiente verificare che le curvatures siano compatibili. Per esempio, supponiamo di voler costruire un cono dalla punta arrotondata.



$$S = 4\pi R^2$$
$$720^\circ$$

La quantità di curvatura contenuta nella calotta sferica è uguale a:  
 $\theta = 720^\circ \times s/4\pi R^2$



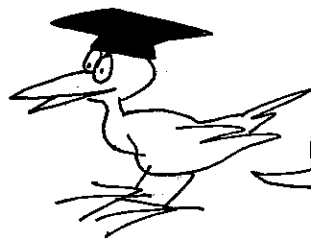
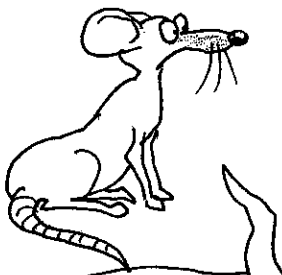
Il fianco del cono arrotondato è il fianco di un cono che corrisponde ad un taglio di angolo  $\theta$ . E' sufficiente tagliare la punta di questo cono in modo tale che il perimetro combaci con quello della calotta sferica e il gioco è fatto.



e toc!

# MATERIA, VUOTO...

Dunque, se ho capito bene, nell'Universo, la materia occupa delle specie di isolotti con molto vuoto attorno, o in mezzo. Ma il **VUOTO** che cos'è ?



Per un fisico, il vuoto perfetto, riempito dal **NULLA**, non può esistere. Bisognerebbe che l'universo intero si trovasse allo zero assoluto. Questo vuoto perfetto sarebbe impossibile da isolare, persino con una parete perfettamente ermetica. Quest'ultima emetterebbe radiazioni e questo "vuoto" si riempirebbe dei fotoni emessi dalla parete (\*)

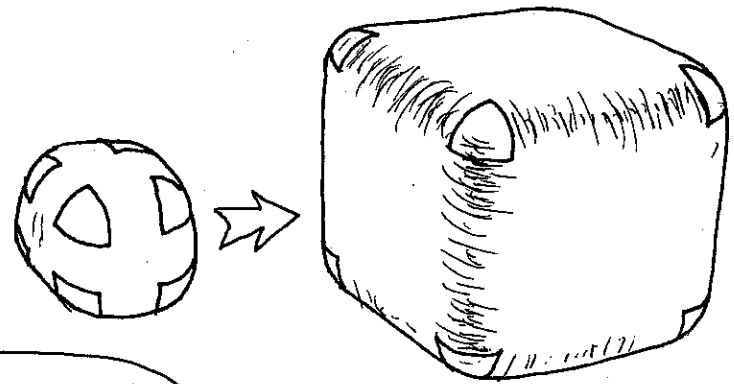
In altri termini, questi grandi vuoti tra le galassie sono stati riempiti dai fotoni emessi... dalle stelle ?



Bisogna rileggere **IL BIG BANG**. L'osservazione ci ha mostrato nel 1967 la presenza nell'universo intero di fotoni in numero importante (un miliardo di volte più numerosi che le particelle di materia, che formano ciò che viene chiamato la **RADIAZIONE COSMICA DI FONDO A 3° K**. Sono questi fotoni che costituiscono ciò che chiamiamo "vuoto cosmico" e sono loro che popolano queste bolle di 100 milioni d'anni luce di diametro.

(\*) Corrisponde a  $h\nu = hc/\lambda = k T$  dove  $T$  è la temperatura assoluta della parete,  $c$  la velocità della luce,  $h$  la costante di Planck e  $k$  la costante di Boltzmann.

Insomma, il modello proposto da Anselmo, quello di un cubo dagli angoli arrotondati, di area costante, costituito da ottavi di sfera, uniti da una superficie estensibile, un "vuoto", costituito da "fotoni di giunzione" non é così sbagliato.



Ma i fotoni si muovono ! Non capisco questa immagine di un "tessuto di fotoni di giunzione"

Hai ragione. Anche le onde si muovono. Bisognerebbe piuttosto immaginare una specie di "POZZA" continuamente agitata da onde la cui lunghezza d'onda sarebbe di cinque millimetri (\*)

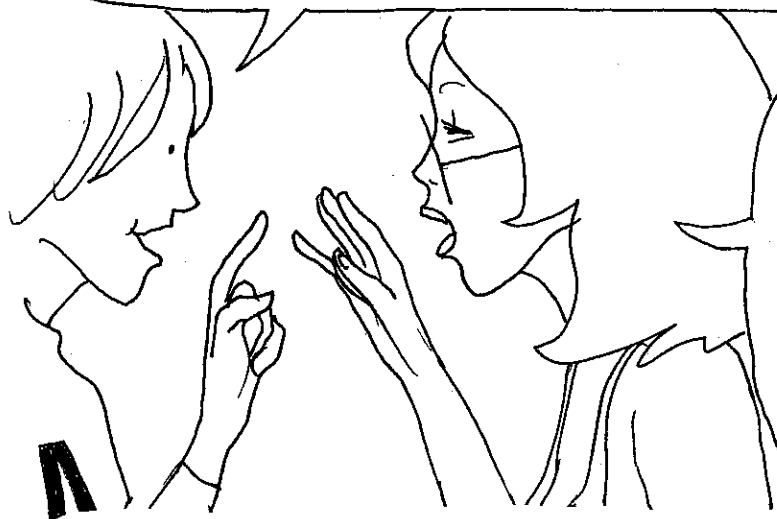
Dunque, se questa "POZZA" si dilata, significa che appaiono nuove "onde".

No, sono le "onde" che si dilatano. La lunghezza d'onda  $\lambda$  di questi fotoni "cosmologici" cresce come la dimensione  $R$  dell'Universo.

$$\begin{aligned} (*) \quad \lambda &= \frac{hc}{kT} ; h = 6,63 \cdot 10^{-34} \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} ; k = 1,38 \cdot 10^{-23} \\ T = 3^\circ \text{K} &\Rightarrow \lambda = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

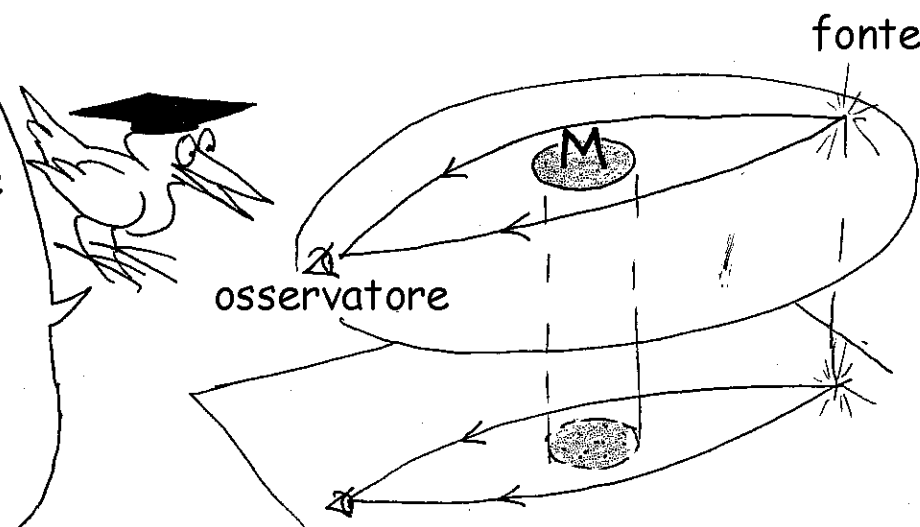


Sofia, l'energia contenuta nell'Universo é la somma di quella delle particelle di massa  $m$ , ossia  $mc^2$ , che non varia se  $m$  e  $c$  sono delle costanti, e dell'energia  $h\nu = hc/\lambda$  dei fotoni cosmologici. Se il loro numero non varia mentre la loro lunghezza d'onda  $\lambda$  cresce come la **DIMENSIONE CARATTERISTICA R** dell'universo, cio' significa che la loro energia diminuisce. Quindi, **IL COSMO PERDE ENERGIA.**



Non pensare che tutto sia semplice e ben compreso. Il **MODELLO COSMOLOGICO** é un puro **OGGETTO GEOMETRICO**, soluzione dell'**EQUAZIONE DI EINSTEIN**, ed é incapace di descrivere l'esistenza delle particelle che sono dominio della **MECCANICA QUANTISTICA**. Sai bene che le nozze non sono state ancora celebrate.

In altri termini, consideriamo una **IPERSUPERFICIE 4d** e mettiamoci delle particelle supponendo che seguano delle geodetiche. Questa **IPOTESI** permette di fare delle **PREDIZIONI** per i fotoni: Per esempio, la loro deviazione da parte di una massa per effetto di **LENTE GRAVITAZIONALE**, che si é messo in evidenza nel 1915 all'occasione di un'eclisse totale di sole.



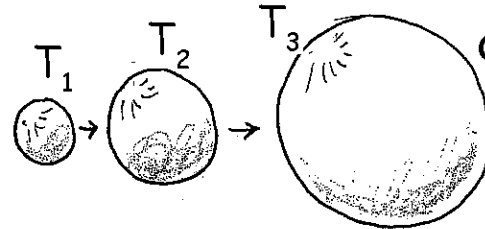
Effetto di **MIRAGGIO GRAVITAZIONALE**

# MODELLO COSMOLOGICO

## Un MODELLO COSMOLOGICO

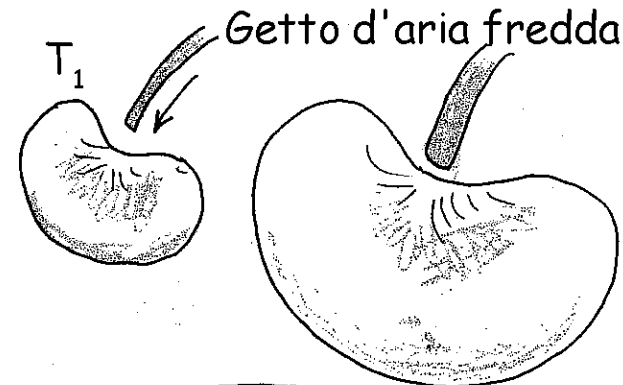
é una soluzione di un'equazione di campo come l'equazione di EINSTEIN  $S \Leftarrow \chi T$  che si deve leggere "nel senso della freccia". T rappresenta il **CONTENUTO IN ENERGIA-MATERIA** dell'universo, che **DETERMINA LA GEOMETRIA** di una **IPERSUPERFICIE** a quattro dimensioni, che sarà lo **SPAZIO-TEMPO**. Vediamo come la distribuzione d'energia in un oggetto possa determinare la sua geometria. Consideriamo un compartimento di forma sferica alla temperatura ordinaria. Cerchiamo di riscaldarlo in modo non uniforme, per esempio mettendolo in un ambiente gassoso la cui temperatura aumenta sempre più, ma raffreddandone una parte con un getto d'aria fredda. L'oggetto si dilaterà e la sua forma, la sua geometria, dipenderà dal valore della temperatura in ogni punto di questa sfera metallica.

*La Direzione.*



Una sfera vuota, di metallo, messa in un ambiente gassoso a temperatura

crescente si dilaterà conservando la sua **SIMMETRIA SFERICA**. Ma, se per esempio limitiamo localmente la sua dilatazione con un getto d'aria fredda, assumerà la forma di un fagiolo.



Si parlerà di **CAMPO DI TEMPERATURA**



Anselmo ha costruito un modello geometrico 2d d'un Universo non omogeneo, con delle regioni che non si dilatano, circondate da immensi vuoti in espansione. E' uno degli aspetti chiave del cosmo come lo consideriamo oggi. Precedentemente, i cosmologi si rappresentavano l'universo come una specie di gas, uniforme, le cui "molecole" erano le galassie (\*). Questo modello é sopravvissuto. Ora, nessuno é in grado di costruire una soluzione dell'equazione di Einstein che non abbia la simmetria della sfera  $S^3$ . Si tenta quindi di descrivere un mondo non omogeneo, lacunare, con dei modelli perfettamente "lisci", omogenei.

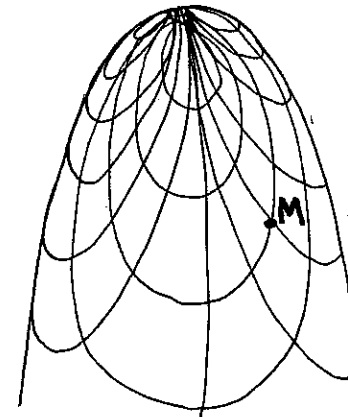
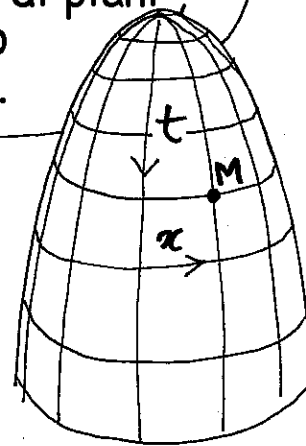
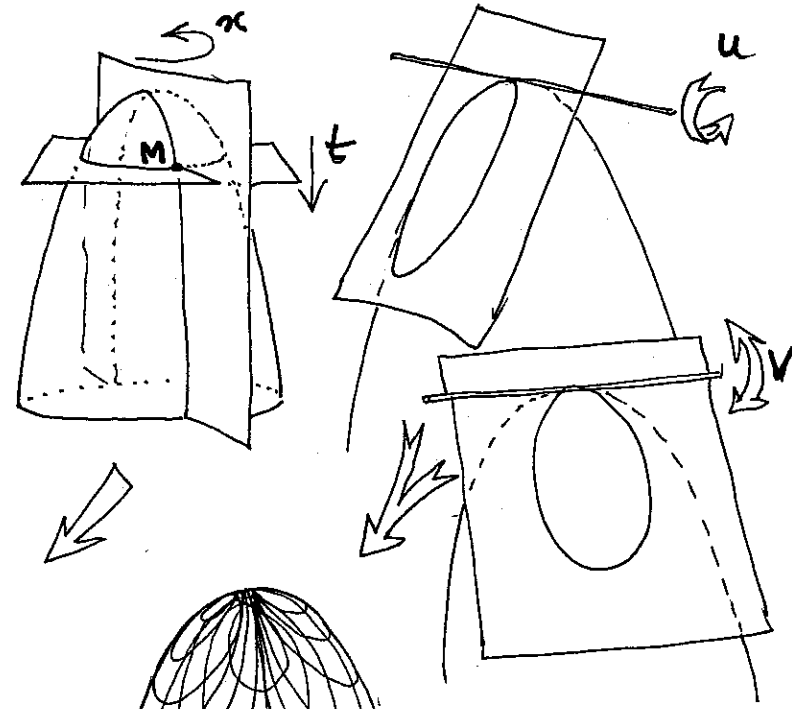
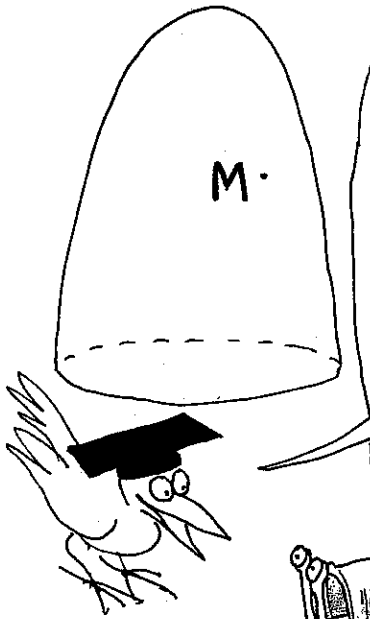
Allora, stando cosi' le cose, quando si estrae un'equazione di campo come quella di Einstein sotto forma di un'ipersuperficie a quattro dimensioni, che si fa? Bisogna **CARTOGRAFARLA**, piazzarle un sistema di coordinate  $(x, y, z, t)$ , le prime tre per definire la posizione di un punto di questa ipersuperficie e la quarta per il **TEMPO**. Ed é qui che la **GEOMETRIA** passa la mano al **FISICO**.



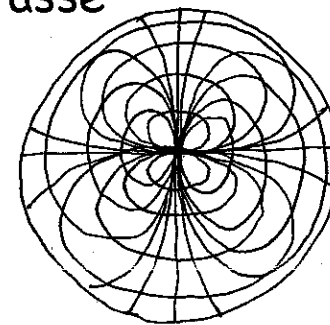
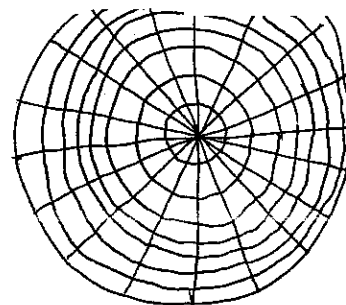
(\*) Un "universo riempito di polvere" perché la velocità d'agitazione delle galassie é piccola rispetto  $c$ .

# CARTOGRAFARE

Consideriamo una superficie in forma di paraboloide, come un budino. Possiamo identificare la posizione di un punto  $M$  con l'aiuto di due numeri, che chiameremo **COORDINATE**. Ma per una stessa superficie esistono un'infinità di **SISTEMI DI COORDINATE** possibili. Possiamo per esempio tagliare la superficie con due famiglie di piani, le cui sezioni ci danno due famiglie di curve.



Visto secondo l'asse



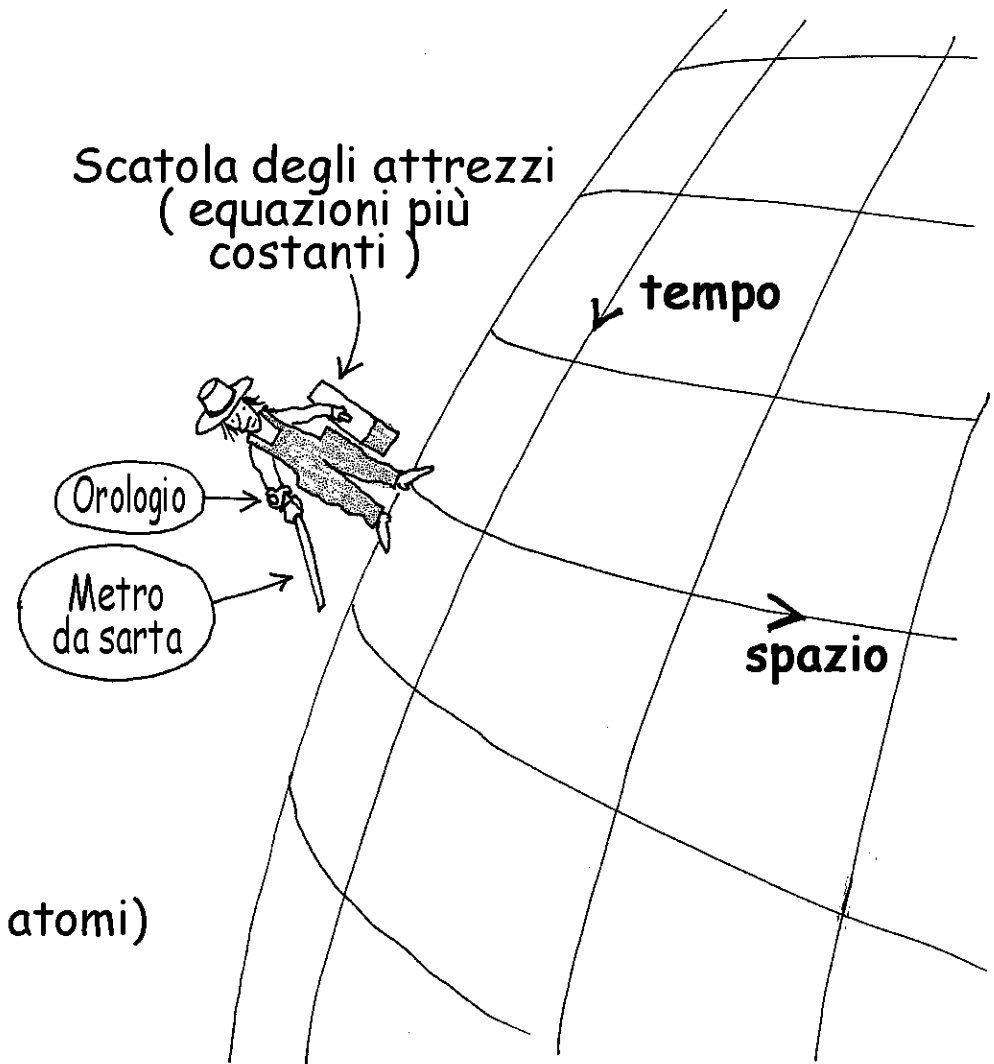
Se questo budino é stato scelto per rappresentare l'immagine 2d dello spazio tempo, esiste allora un sistema di coordinate particolare che definisca **LO SPAZIO** ed **IL TEMPO** senza ambiguità ?

# DISEGNAMI UNA PECORA (\*)

Uno dei cambiamenti più importanti degli inizi di questo secolo è stato quello di considerare che viviamo non in uno **SPAZIO 3d** ma in un **IPERSPAZIO 4d**. Alla stessa epoca, delle equazioni hanno completato ciò che già conoscevamo, come le equazioni di Maxwell dell'elettromagnetismo. Dei **FENOMENI NUOVI** ci hanno fornito una nuova serie di osservabili, come la carica elettrica. Il fisico si è dotato di una "scatola d'attrezzi" costituita da un insieme d'equazioni interdipendenti nelle quali figurano delle "costanti".

**G** : costante di gravitazione universale  
**c** : velocità della luce  
**m** : massa elementare (nucleoni, elettroni )  
**h** : costante di Planck  
**e** : carica elettrica elementare  
 $\mu_0$  : " permeabilità magnetica del vuoto"  
 $\alpha$  : costante di struttura fine (geometria degli atomi)

Si scopri' che c'erano gli stessi atomi nell'universo intero, che quest'ultimo era in evoluzione, aveva un passato ed un futuro e che noi abitiamo una minuscola porzione dello spazio-tempo.



(\*) Una frase che i lettori del **PICCOLO PRINCIPE**, tradotto in molte lingue, capiscono perfettamente.

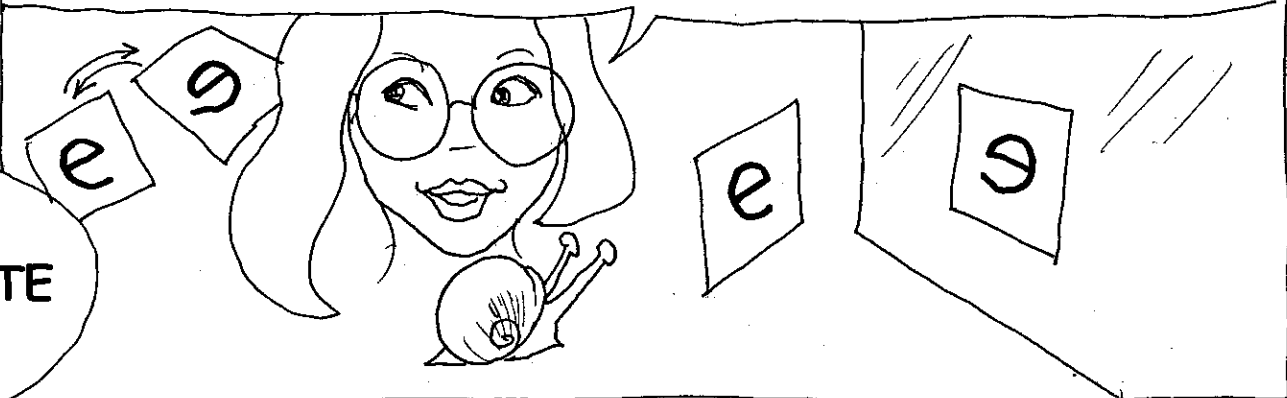
Si scopri' che **MATERIA** e **RADIAZIONI** erano due manifestazioni di una stessa entità, l'**ENERGIA-MATERIA**, secondo la celebre legge d'equilibrio  $E = mc^2$  e ci si precipitò a verificarlo sperimentalmente con delle magnifiche esperienze effettuate in luoghi aperti.

Restavano da studiare **LOCALMENTE** le proprietà della nostra ipersuperficie-abitat.



Immaginiamo di vivere su di una superficie la cui curvatura varia poco da un punto all'altro. Possiamo far scivolare su quest'ultima una decalcomania : **e**

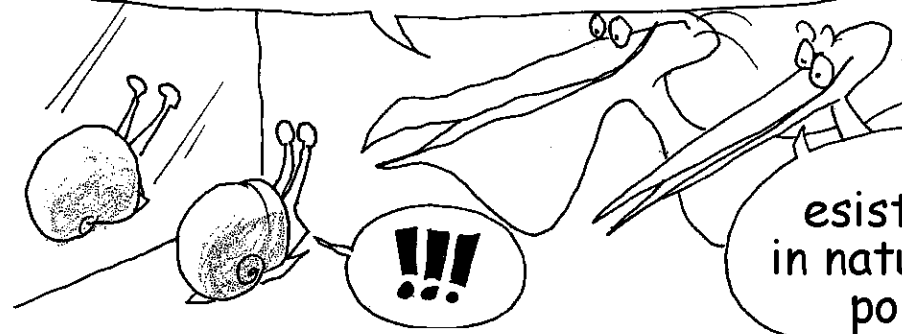
Scopriamo anche che non si modifica la dimensione della decalcomania **GIRANDOLA** al contrario, poiché girandola nuovamente ritorna identica all'inizio (invarianza " di riflessione ")



Ci si accorge allora che la decalcomania è **INVARIANTE** se la si gira o la si sposta ( un po' non troppo ) (\*).

(\* ) Diremo che questo spazio è localmente invariante per i **GRUPPI** delle **ROTAZIONI** e delle **TRASLAZIONI**.

Mio caro Tiresia, lo sa che la sua conchiglia non é uguale alla sua immagine nello specchio ? Cosa ne pensa, é una lumachina "destra" o "sinistra" ?



Inoltre, esistono davvero in natura queste due popolazioni ?

Abbiamo detto che in questi fumetti non si fa politica !

Questa simmetria evoca la scoperta della **DUALITA' MATERIA-ANTIMATERIA** (\*) che inverte in particolare la carica elettrica :

$$\theta = -e$$

Il fatto che la dimensione del carattere sia invariata, illustra il fatto che la massa di una particella d'antimateria é la stessa di quella della particella della quale costituisce l'opposto simmetrico.

$$m = m$$



Tutte le particelle : neutroni, mesoni, quark, etc... possiedono le loro antiparticelle, eccetto il **FOTONE** che é la sua propria antiparticella.



Non succede  
**NULLA.**



E' il trucco della  
"decalcomania"  
che spostiamo, questa  
volta in **4d**.

Siamo invarianti  
per traslazione  
spazio-temporale.

E per quanto riguarda  
le **ROTAZIONI** in questo spazio **4d** ?



Esiste ben l'equivalente, ma é impossibile  
da rappresentare, poiché le "decalcomanie 4d"  
sono invarianti per rotazione di un angolo  
**IMMAGINARIO PURO** e costituiscono il  
cosiddetto **GRUPPO DI LORENTZ (\*)**.

Resta comunque che la scatola degli  
attrezzi del **FISICO** sembrava funzionare abbastanza bene  
nel nostro piccolo angolo di spazio-tempo (all'esclusione di  
certi aspetti astrofisici che abbiamo affrontato nell'album  
**L'UNIVERSO GEMELLARE**) la tentazione era forte di  
considerare che gli elementi di questa scatola d'attrezzi  
potessero essere universali, in particolare che le costanti  
che figurano nelle equazioni potessero essere  
delle **COSTANTI ASSOLUTE**.

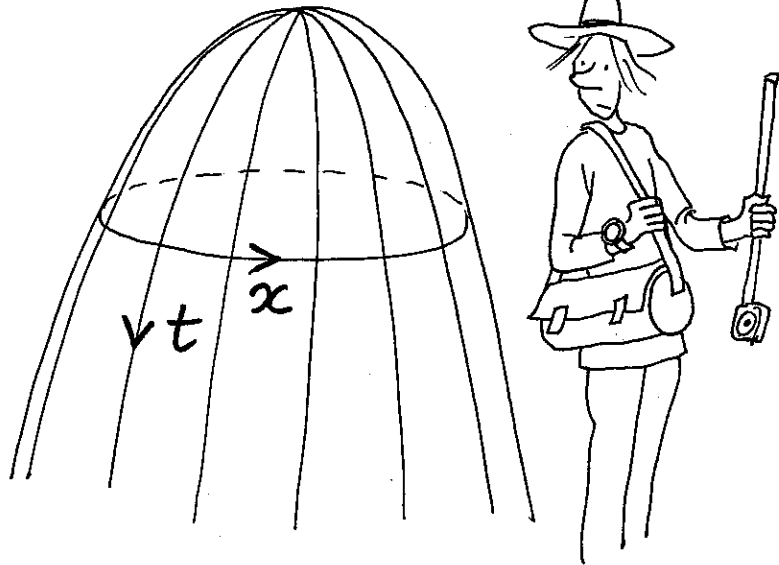


G c R m  
e a M o

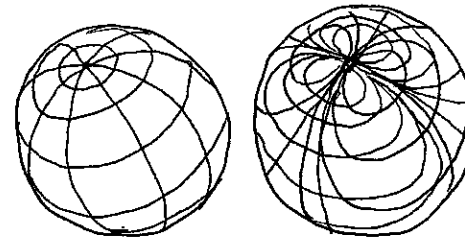
(\*) Questa proprietà "d'invarianza per rotazioni lorentziane" riassume da sola  
tutti gli aspetti così sconcertanti della teoria della **RELATIVITA' RISTRETTA**.



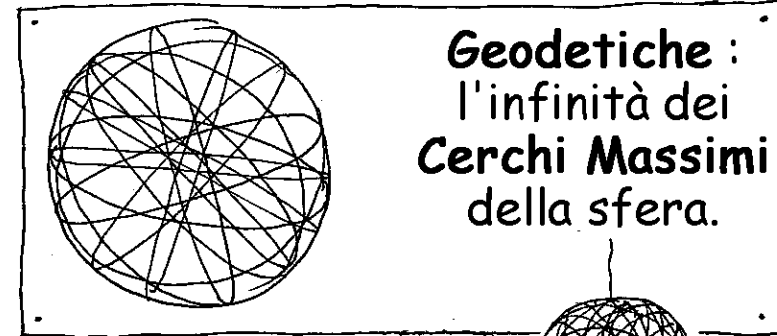
# BIG BANG



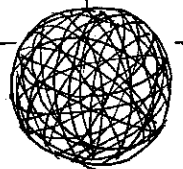
Nell'ipersuperficie che costituisce la soluzione dell'equazione di EINSTEIN, esistono delle curve particolari che restano le stesse qualsiasi sistema di coordinate si scelga, sono le sue **GEODETICHE**. Allo stesso modo, l'infinità di geodetiche che si inscrivono su di una sfera sono indipendenti dal sistema di coordinate che servono a descriverle.



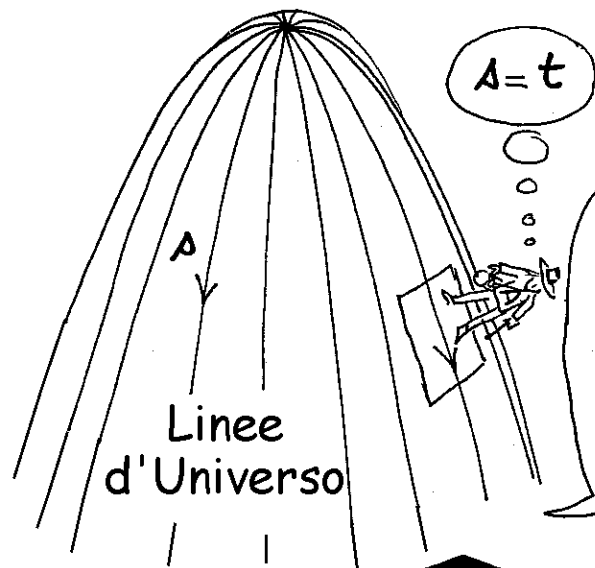
Insiemi di coordinate



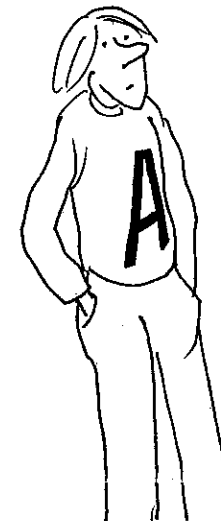
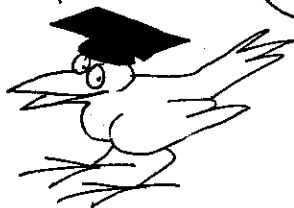
**Geodetiche:**  
l'infinità dei  
**Cerchi Massimi**  
della sfera.



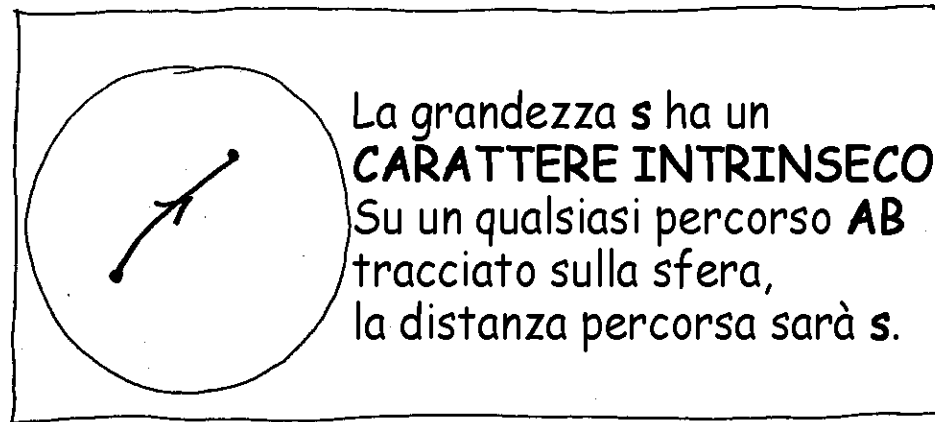
Lampadario  
costituito da  
geodetiche.



Sulla ipersuperficie si seleziona una famiglia di geodetiche, che convergono verso un punto. Si decide di scegliere l'ascissa curvilinea  $s$ , misurata lungo queste curve che chiamiamo **LINEE D'UNIVERSO**, ed identificarla ad un **TEMPO COSMICO  $t$** .

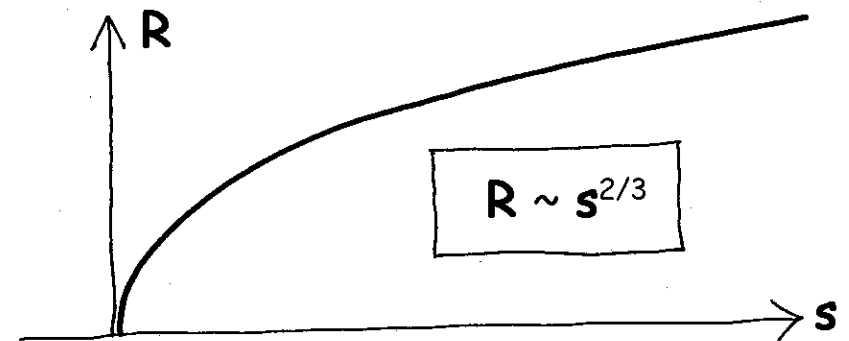


Perpendicolarmente a queste linee si trova, costituita da tutti i punti situati alla stessa **EPOCA s**, una ipersuperficie a tre dimensioni che si identifica allo **SPAZIO FISICO**. Immagine 2d qui rappresentata.



La grandezza **s** ha un **CARATTERE INTRINSECO**. Su un qualsiasi percorso **AB** tracciato sulla sfera, la distanza percorsa sarà **s**.

Il modello cosmologico detto **MODELLO STANDARD** è una soluzione.



Tutto ciò con il sistema completo di equazioni dotate delle grandezze **G, c, m, e, α, μ<sub>0</sub>**, considerate come delle **COSTANTI ASSOLUTE**. L'identificazione di **s** con il tempo funzionava allora abbastanza bene. Questa idea diede allora nascita al modello del **BIG BANG**.

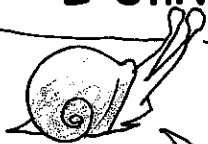


E allora?

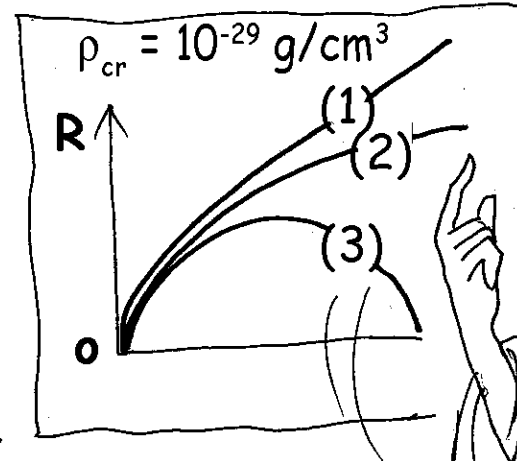


(\*) Chiamiamo questa scelta il sistema di **COORDINATE GAUSSIANE**.

Questo **Modello Standard** ha avuto i suoi momenti di gloria, i suoi cantori, i suoi grandi predicatori. Si era persino calcolato che il destino futuro dell'universo sarebbe dipeso dalla sua densità attuale, a seconda del suo valore superiore, uguale o inferiore ad un valore critico uguale a  $10^{-29}$  gr/cm (\*). La scoperta che, al contrario delle previsioni, l'universo é in espansione accelerata, decreto' la morte di questo modello (si veda **L'Universo Gemellare**)



Allora gli uomini si sono rivolti al passato ?



La **MECCANICA QUANTISTICA** si diceva incapace di descrivere dei fenomeni che si svolgessero in un tempo inferiore al

$$\text{Tempo di Planck } t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 10^{-43} \text{ sec.}$$

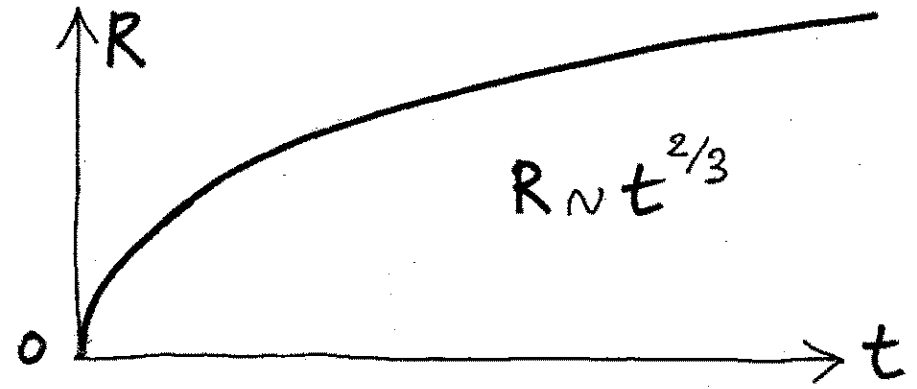
O per distanze inferiori a :

$$\text{La lunghezza di Planck } L_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 10^{-33} \text{ cm.}$$

(\* ) Si veda le ultime pagine del *Géométricon* (1980).

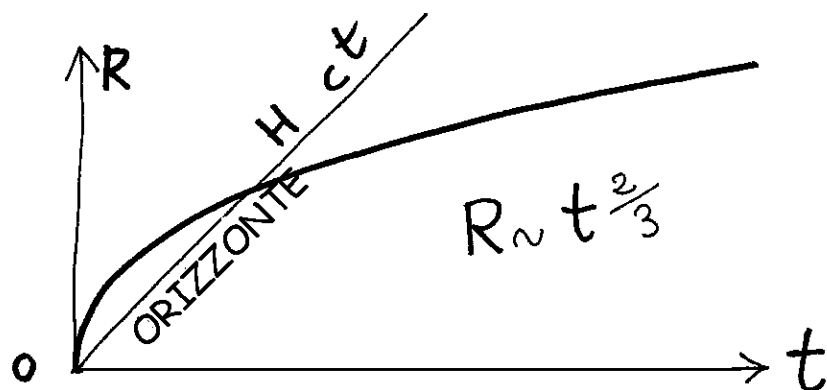
# LA BARRIERA DI PLANCK

Nessuno dubitava sul fatto che ciò che funzionava per il presente avrebbe funzionato anche nel passato più lontano, si speculò eccessivamente sul possibile stato dell'Universo con  $t$  inferiore al tempo di Planck, e senza rendersi conto che tutto riposava sull'ipotesi fondamentale che  $G$ ,  $h$  e  $c$  fossero delle **COSTANTI ASSOLUTE** non influenzate dall'evoluzione cosmica.



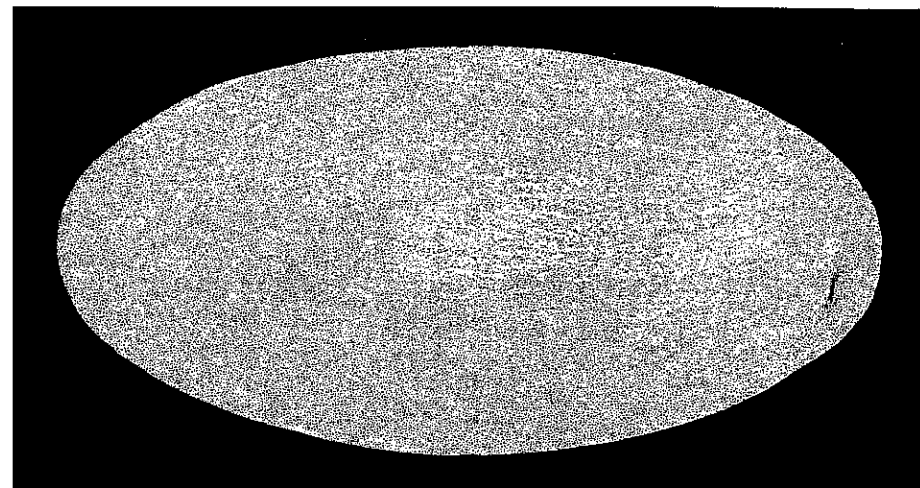
Aspettate, aspettate!  
Vi posso citare un sacco di articoli pubblicati da persone molto serie, che hanno dimostrato che quando si tocca ad una di queste costanti, se si suppone una minima variazione nel corso dell'evoluzione, ciò crea delle contraddizioni incompatibili con le osservazioni.

# CIRCOLATE! NON C'E' NULLA DA VEDERE



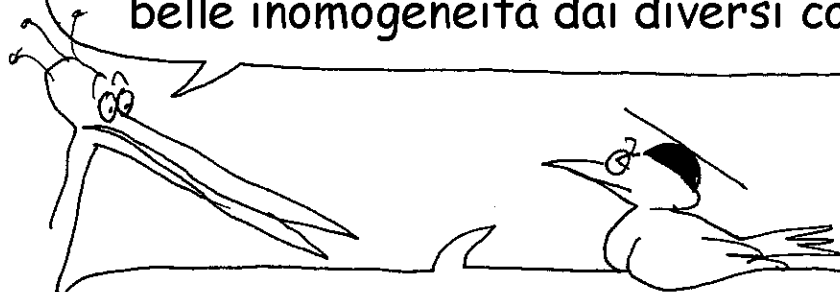
Nel 1992, il satellite COBE, effettuando le sue prime misure precise della radiazione cosmica di fondo, il CMB (\*) che ci fornisce un'immagine dell'Universo ai suoi primi istanti, ci ha mostrato che quest'ultimo era omogeneo con una precisione di un centesimo di migliaia.

In esclusiva : l'Universo primitivo



come si presenta in realtà!

Non capisco. Nei giornali e su internet, ci mostrano un sacco di immagini con delle belle inhomogeneità dai diversi colori.



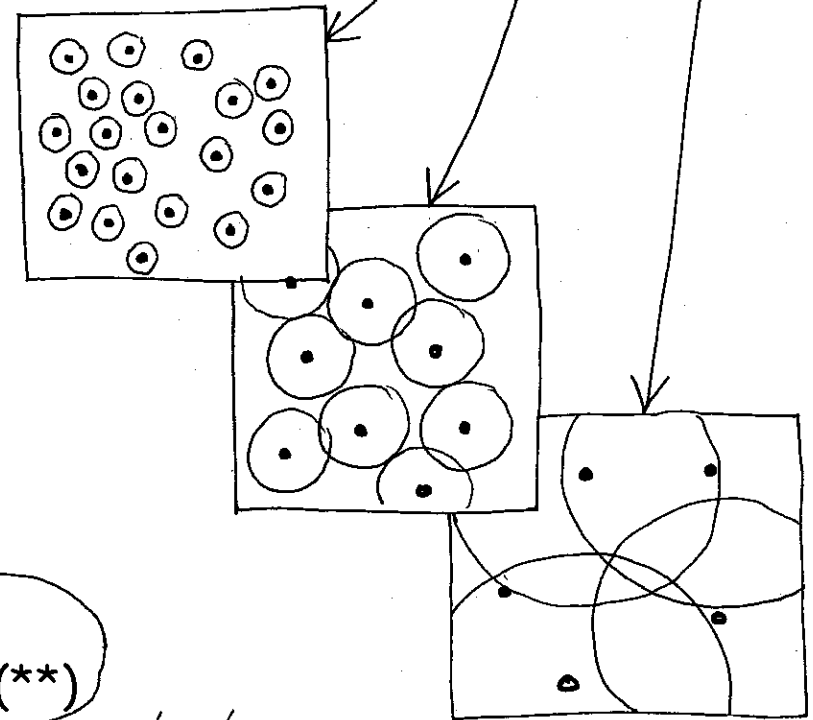
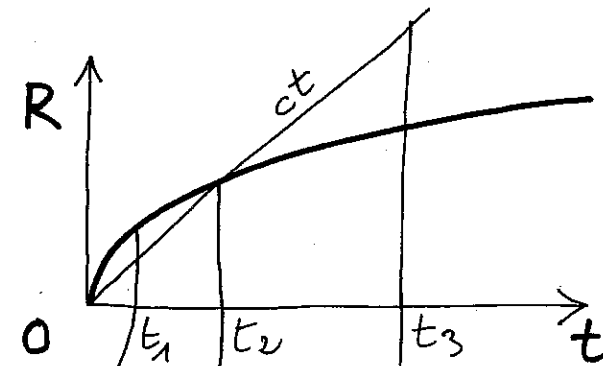
E' perché ci mostrano il contrasto con il computer. Altrimenti la vera immagine sarebbe quella qui a fianco.

(\*) Cosmic Microwave Background

Questa fantastica omogeneità é un paradosso inevitabile. Se la velocità della luce é costante, allora un'onda elettromagnetica (\*) emessa all'istante zero si propagherà secondo una sfera di raggio  $ct$ , che chiamiamo **ORIZZONTE COSMOLOGICO**. Quindi, si veda la curva della pagina precedente, la distanza tra le particelle cresce come  $R$ . A quest'epoca, dunque, le particelle si allontanano con una velocità superiore a  $c$ . Si ignorano quindi completamente. E' un'universo autistico. Come spiegare, in queste condizioni, che un universo le cui particelle non hanno mai interagito, possieda un tal grado di omogeneità?

*La Direzione.*

(\*) che viaggia a velocità  $c$



Ci sarebbe una soluzione : che la velocità della luce fosse stata più importante in passato (\*\*)

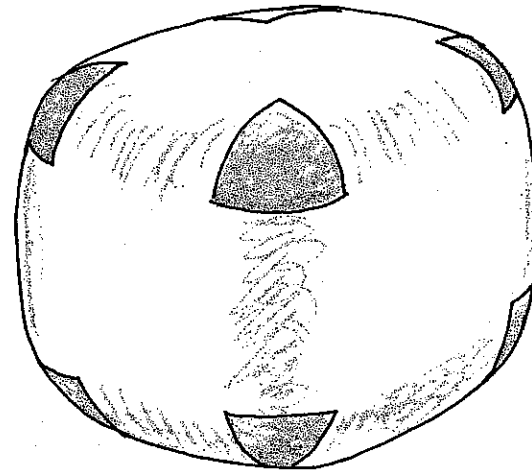
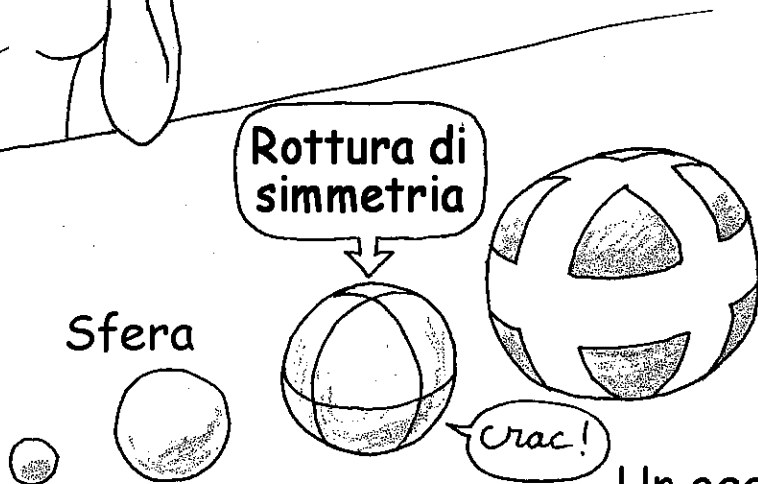


(\*\*) Idea sviluppata per la prima volta dall'autore nel 1988 :  
 " An interpretation of cosmological model with variable light velocity ",  
 Mod. Phys. Lett. A Vol. 3 n°16 pagina 1527.

# ROTTURA DI SIMMETRIA



Se vogliamo trovare un qualche indizio, penso che bisognerebbe riprendere l'immagine di Anselmo e tornar indietro nel tempo. Ci sarà sicuramente un momento in cui gli otto angoli arrotondati del cubo combacieranno a formare una sfera.

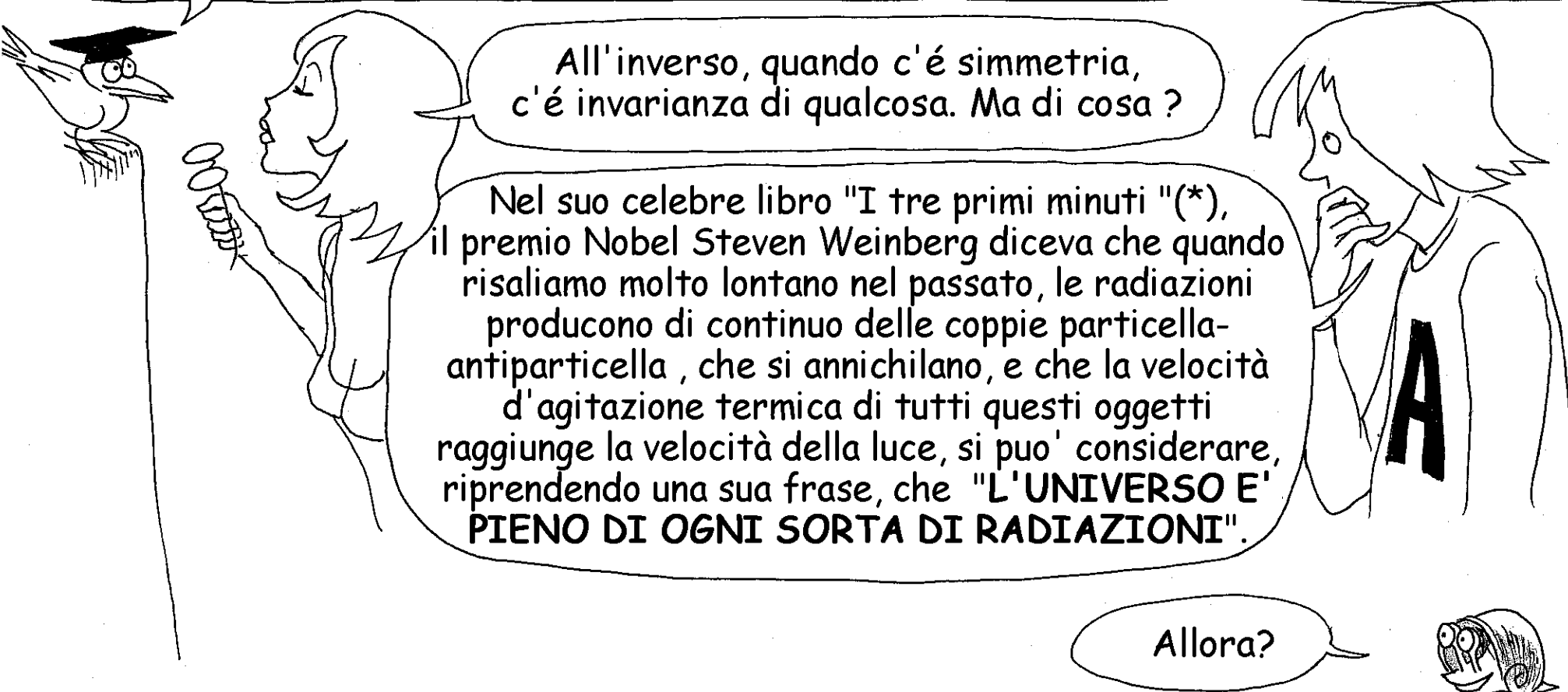


Cubo in cui gli otto vertici sono delle porzioni di sfera, non estensibili.

Un oggetto con la simmetria di un cubo possiede un certo numero di piani di simmetria e di assi di simmetria, di rotazioni discrete di  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $3\pi/2$ . Una sfera ha un grado di simmetria enormemente più elevato (\*) poiché tutti i piani passanti per il suo centro sono piani di simmetria e che la sfera resta invariante per una rotazione di un'angolo qualunque attorno ad un qualsiasi asse che passi egualmente per il suo centro.

(\*) La simmetria  $O(2)$ .

Ma il cubo dagli angoli arrotondati era solo un modello per chiarire le idee, dandoci l'immagine di un universo con otto "ammassi di materia" e strutturato come un poliedro regolare. Sempre in due dimensioni, potremmo immaginare una sfera che si frammenterebbe in un grande numero di elementi rigidi, collegati ad elementi di superficie euclidei e estensibili. Perderebbe completamente la sua simmetria iniziale e si produrrebbe ciò che chiamiamo una **ROTTURA DI SIMMETRIA**. Ora, in fisica teorica, un tale evento è sinonimo di cambiamenti maggiori, per esempio sul modo in cui si opera l'espansione dell'Universo.




All'inverso, quando c'è simmetria, c'è invarianza di qualcosa. Ma di cosa?

Nel suo celebre libro "I tre primi minuti" (\*), il premio Nobel Steven Weinberg diceva che quando risaliamo molto lontano nel passato, le radiazioni producono di continuo delle coppie particella-antiparticella, che si annichilano, e che la velocità d'agitazione termica di tutti questi oggetti raggiunge la velocità della luce, si può considerare, riprendendo una sua frase, che "**L'UNIVERSO È PIENO DI OGNI SORTA DI RADIAZIONI**".

Allora?

(\* ) Del quale l'autore si è servito per scrivere il **BIG BANG** nel 1982.





Seguendo quest'idea, se delle particelle materiali (\*) raggiungessero la velocità della luce, si comporterebbero allora come delle... **RADIAZIONI**, quindi...

Diventerebbero come il "gas di fotoni" : **COMPRESSIBILI**.

Aspetti, non così veloce ! La lunghezza d'onda  $\lambda_\phi$  dei fotoni varia come  $R$ . Se ciò che dite è vero, allora la **LUNGHEZZA D'ONDA DI COMPTON** che ci dà la "grandezza" delle particelle

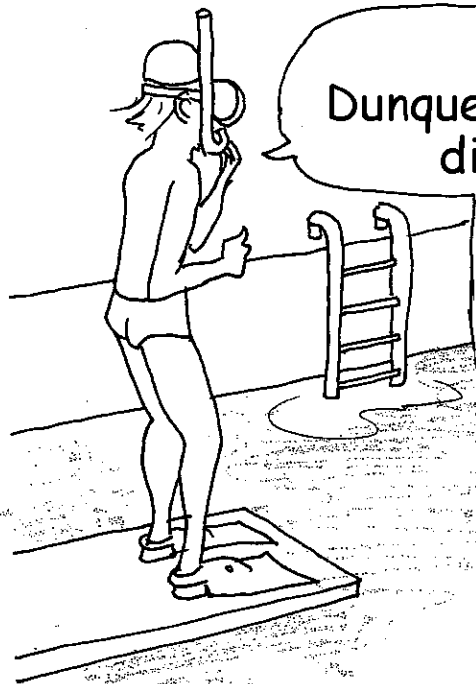
$$\lambda_c = h/mc$$

varierebbe allo stesso modo ! E affinché ciò sia possibile, bisognerebbe che una delle costanti, per esempio  $c$ , vari a sua volta !!!

Perché **UNA** costante, perché non **TUTTE** le costanti assieme, visto che ci siamo ?

Diventa interessante !

(\*) L'antimateria possiede una massa  $m$  ed un'energia  $mc^2$  positive.



Viene sempre un tempo in cui bisogna lanciarsi ed osare !  
Dunque, cerchero' di permettere a **TUTTE LE COSTANTI** della fisica di variare, parallelamente, optando per le quattro seguenti ipotesi :

- Tutte le equazioni della fisica devono restare soddisfatte.
- Tutte le lunghezze caratteristiche devono variare come **R**.
- Tutti i tempi caratteristici devono variare come **t**.
- Tutte le energie, in qualsiasi forma si trovino, saranno conservate.



In **RELATIVITA' GENERALE**, si trova una lunghezza caratteristica che é il **RAGGIO DI SCHWARSCHILD R<sub>S</sub>**,

$$L_S = \frac{2Gm}{c^2} \quad \text{dunque, segue che} \quad \frac{Gm}{c} \sim R \quad (*)$$

**G** é la "costante di gravitazione universale".

(\*) Il simbolo ~ si legge "varia come".

Sempre nella teoria della Relatività Generale, la celebre equazione di Einstein si scrive :

$$S = - \frac{8\pi G}{c^2} T$$

dove la frazione rappresenta la **COSTANTE D'EINSTEIN** (\*). Per delle ragioni matematiche, deve essere invariante, e cio' ci da :

$$G \sim c^2$$

La combino e ottengo la mia prima legge :

$$m \sim R$$

La massa  $m$  cresce con la dimensione caratteristica  $R$  dell'universo. E perché no ? Combiniamola con la mia ipotesi di conservazione dell'energia  $mc^2 = \text{costante}$

$$c \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$$

Toh, ecco un modello a velocità della luce variabile! Continuiamo..

Cio' mi da una costante di gravitazione che varia secondo

$$G \sim \frac{1}{R}$$

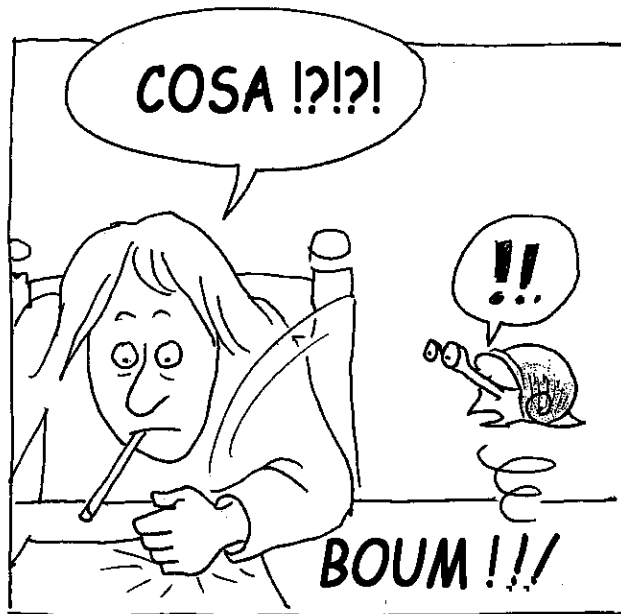
ora aggiungo alla mia marmitta il fatto che le particelle siano comprimibili, cioè

$$\lambda_c = \frac{h}{mc} \sim R$$

ottengo una costante di Planck che evolve secondo

$$h \sim R^{3/2}$$

(\*) Scritta in pubblicazioni recenti come :  $\chi = - \frac{8\pi G}{c^4}$  ma questa differenza si imputa al modo in cui si scrivono i termini del tensore T.



# IL MATTINO SEGUENTE

Tutto cio' é magnifico.  
Ma ti chiederei una cosa : a cosa serve ?  
Anselmo ha semplicemente scoperto  
che tutte le equazioni della fisica, senza  
eccezione (\*), erano invarianti per cio' che  
chiamiamo una **TRASFORMAZIONE  
DI GAUGE**.

Ora, ricordatevi una cosa,  
gli strumenti di misura e  
d'osservazione sono costruiti  
a partire da queste stesse  
equazioni.

Conclusione : con questo sistema  
é essenzialmente impossibile trovare  
un'esperienza o uno strumento d'osservazione  
che permetta di evidenziare una qualche  
**VARIAZIONE** , poiché gli strumenti  
di misura e d'osservazione  
"derivano parallelamente" alle quantità  
che devono misurare.

Allora, cio' che ho fatto é inutile ?

(\*) Per l'invarianza delle equazioni di Maxwell, Schrödinger, etc, si veda l'ANNESSO.

E' simpatico come esercizio di matematica.  
Ma che interesse ha se non si puo' misurare  
niente? E' come cercare di evidenziare l'aumento  
della temperatura di una stanza misurando la  
dilatazione di una tavola di ferro, per mezzo  
di una stecca fatta dello stesso metallo.

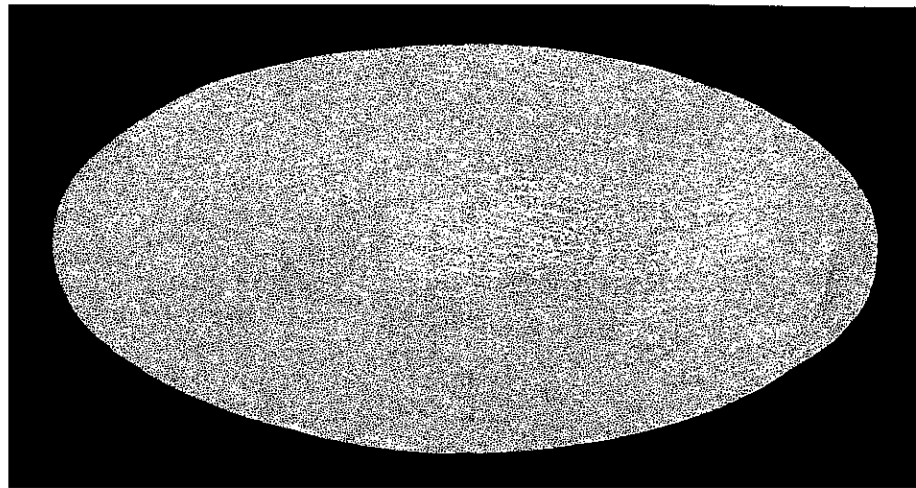


Hi, Hi!

Aspetta, aspetta,  
c'è qualcosa che si **OSSERVA**  
e che il modello potrebbe essere  
in grado di spiegare.



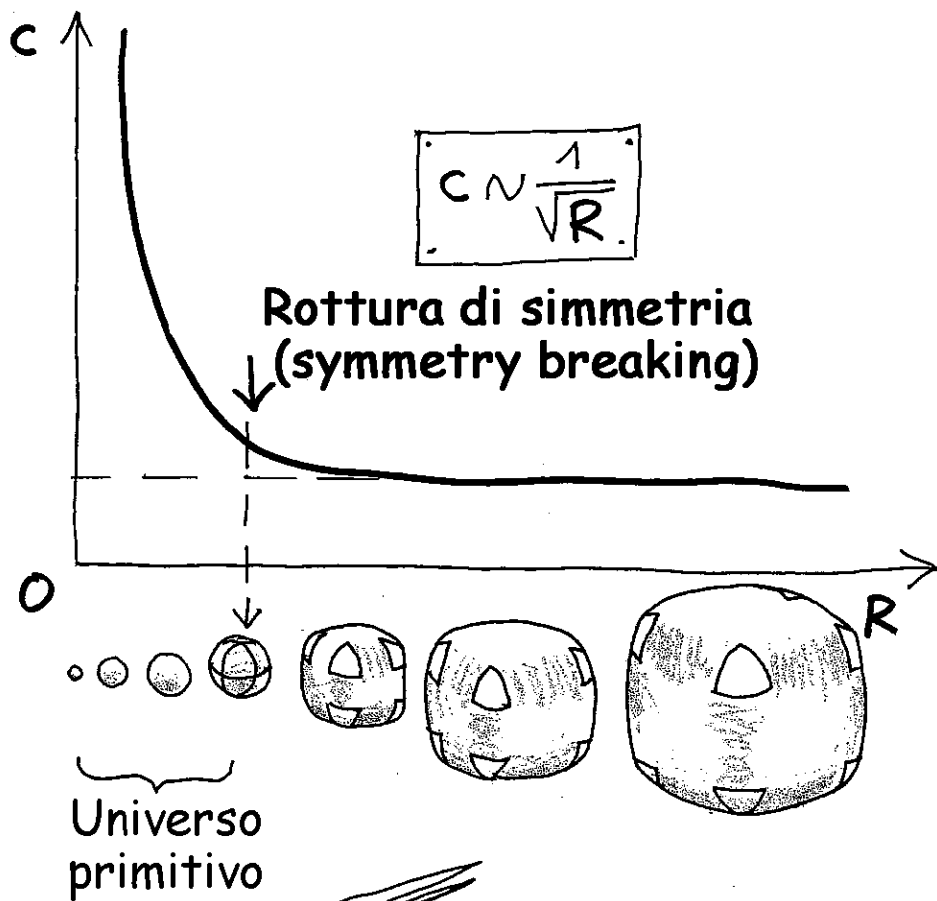
Davvero?  
E che cos'è?



L'Universo primitivo



Questo!



$$c \sim \frac{1}{\sqrt{R}} \quad G \sim \frac{1}{R} \quad \rho \sim R^{3/2}$$

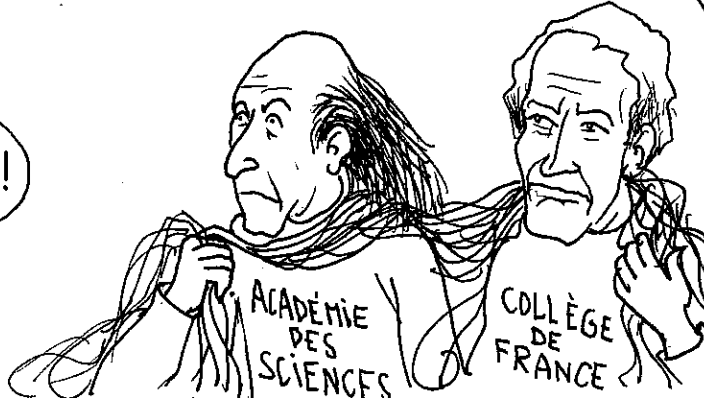
$$m \sim R \quad e \sim \sqrt{R} \quad \epsilon_0 = \text{cost}$$

$$\alpha = \text{cost} \quad \mu_0 \sim R \quad (*)$$

(vedere Annesso)



Nel modello di Anselmo (\*), la velocità della luce era variabile quando l'universo si trovava nel suo stato primitivo, prima della **ROTTURA DI SIMMETRIA**. Allora, l'**ORIZZONTE COSMOLOGICO** non è più  $ct$ , con  $c$  costante, ma si calcola con l'aiuto di un **INTEGRALE** (si veda l'ANNESSO). Troviamo allora che questo orizzonte... varia come  $R$ , e ciò giustifica l'**OMOGENEITA'** dell'universo in queste epoche lontane.



Non trascinate per terra le vostre **SUPERCORDE**, finiremo per inciampare!

(\*) Pubblicato dall'autore in riviste scientifiche di alto livello, con "comitato di lettura" (referee system) nel 1988, 1989, 1995, 2001 nell'indifferenza più totale...



**FiNE** 38



# ANNESSO

Cominciamo a calcolare l'ORIZZONTE COSMOLOGICO.

Quando la velocità della luce non varia questo orizzonte é semplicemente  $H = ct$ .

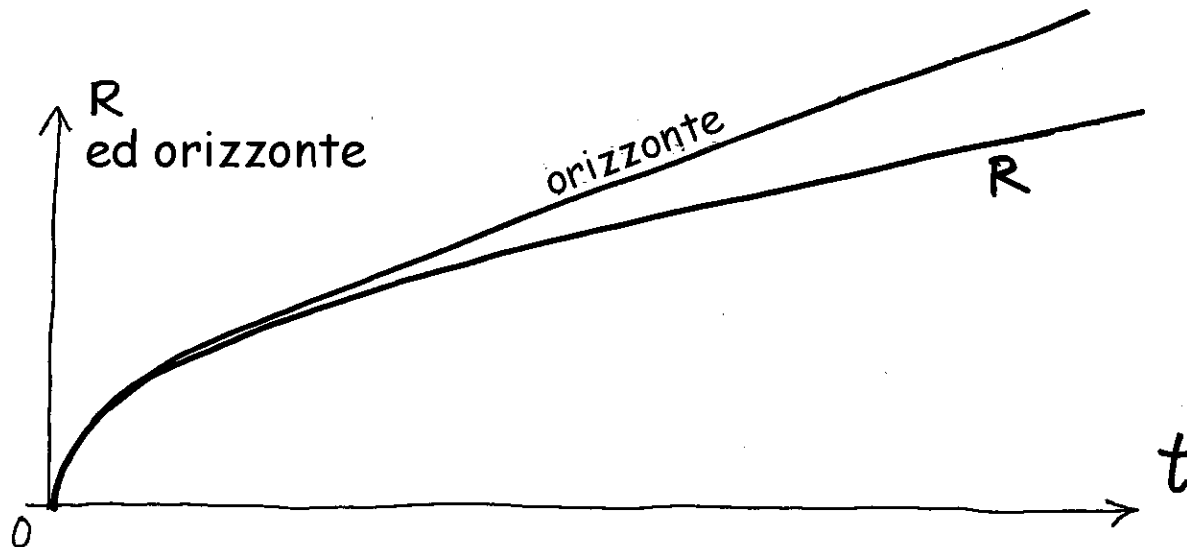
Nell'universo primordiale

questa velocità varia  $c \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$

L'orizzonte si esprime allora con l'aiuto di un integrale:  $H = \int_0^{t(\text{present})} c(t) dt \sim \int_0^{t(\text{present})} \frac{dt}{\sqrt{R}}$

ma  $t \sim R^{3/2} \Rightarrow dt \sim \sqrt{R} dR \Rightarrow \text{orizzonte} \sim \int_0^{R(\text{present})} dR = R$  orizzonte  $\sim R$

Per riassumere, schematicamente



# RELAZIONE FONDAMENTALE D'INVARIANZA DI GAUGE

Tutte le equazioni della fisica sono invarianti per queste trasformazioni di gauge, nelle quali si trattano non solo le grandezze di spazio e posizione come delle variabili, ma anche le 'costanti' che appaiono in queste equazioni. Rendendo queste equazioni adimensionali facciamo apparire delle relazioni di gauge. Prendiamo l'esempio delle equazioni di Maxwell:

$$\boxed{\nabla \times \mathbf{B} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}} \quad \boxed{\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}} \quad \boxed{\nabla \cdot \mathbf{B} = 0} \quad \boxed{\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_e}{\epsilon_0}}$$

Applichiamo questo metodo di mettere sotto forma adimensionale 'generalizzata':

$$\mathbf{B} = \mathbf{B} \beta; \quad \mathbf{E} = \mathbf{E} \epsilon; \quad c = c \xi; \quad t = t \tau; \quad \frac{\partial}{\partial t} = \frac{1}{\tau} \frac{\partial}{\partial \tau}$$

$$\nabla = \begin{cases} \frac{\partial}{\partial x_1} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \xi_1} \\ \frac{\partial}{\partial x_2} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \xi_2} \\ \frac{\partial}{\partial x_3} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \xi_3} \end{cases} \quad \text{write } \delta \begin{cases} \frac{\partial}{\partial \xi_1} \\ \frac{\partial}{\partial \xi_2} \\ \frac{\partial}{\partial \xi_3} \end{cases} \quad \left| \begin{aligned} \frac{\mathbf{B}}{R} \delta \times \beta &= -\frac{\mathbf{E}}{c^2 t} \frac{\partial \epsilon}{\xi^2 \partial \tau} \\ \frac{\mathbf{E}}{R} \delta \times \epsilon &= -\frac{\mathbf{B}}{t} \frac{\partial \beta}{\partial \tau} \end{aligned} \right.$$

combinando queste due relazioni si ottiene:

$$\Rightarrow \boxed{R = c t}$$

che si accorda con le relazioni ottenute precedentemente.

Scriviamo che il **Raggio di Bohr** varia come il fattore di scala  $R$  :

$$R_b = \frac{\hbar^2}{m_e e^2} \sim R ; m_e \sim m \sim R ; e \sim \frac{\hbar}{R} ; \hbar \sim R^{3/2} \rightarrow \boxed{e \sim \sqrt{R}}$$

La costante di struttura fine  $\alpha$  determina la geometria degli atomi. Scegliamo di farne una costante assoluta.

$$\alpha = \frac{e}{\epsilon_0 \hbar c} = \text{cst} \Rightarrow \boxed{\epsilon_0 = \text{costante}}$$

$\epsilon_0$  e  $\mu_0$  sono legati dalla relazione  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$  segue  $\boxed{\mu_0 \sim R}$

Abbiamo fatto l'ipotesi che tutte le forme di energia si conservino. Una pressione è una densità di energia per unità di volume, segue che :

$$E_{\text{magnet}} = R^3 \frac{B^2}{2\mu_0} = \text{cst} \Rightarrow \boxed{B \sim \frac{1}{R}}$$

$$E_{\text{electr}} = R^3 \epsilon_0 E^2 = \text{cst} \Rightarrow \boxed{E \sim \frac{1}{R^{3/2}}}$$

$$\Rightarrow \frac{E}{B} = \frac{1}{\sqrt{R}}$$

in accordo con il risultato ottenuto con le equazioni di Maxwell :  $\frac{E}{B} \sim \frac{R}{t} \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$

Come variano le **velocità V** ?

L'energia cinetica é  $\frac{1}{2} m V^2$ . Se si conserva :

$$V \sim \frac{1}{\sqrt{R}} \sim C$$

Passiamo alla **massa volumica**  $\rho = n m$

Se supponiamo che ci sia conservazione delle speci, si ottiene :  $n R^3 = cst$

$$\rho \sim \frac{1}{R^3}$$

Esaminiamo come si comporta la **distanza di Jeans**, lunghezza caratteristica associata al fenomeno dell'instabilità gravitazionale :

$$L_J = \frac{V}{\sqrt{4\pi G \rho m}} \quad \text{segue} \quad L_J \sim R$$

Allo stesso modo troveremo che il tempo di Jeans obbedisce a :  $t_J = \frac{1}{\sqrt{4\pi G \rho}} \sim t$

In qualsiasi dominio della fisica si applichi questo metodo, si ricade sulle ipotesi fondamentali. Si troverà per esempio che le sezioni efficaci di collisione variano come  $R^2$ . Si troverà che la distanza di Debye varia come  $R$  e così via...

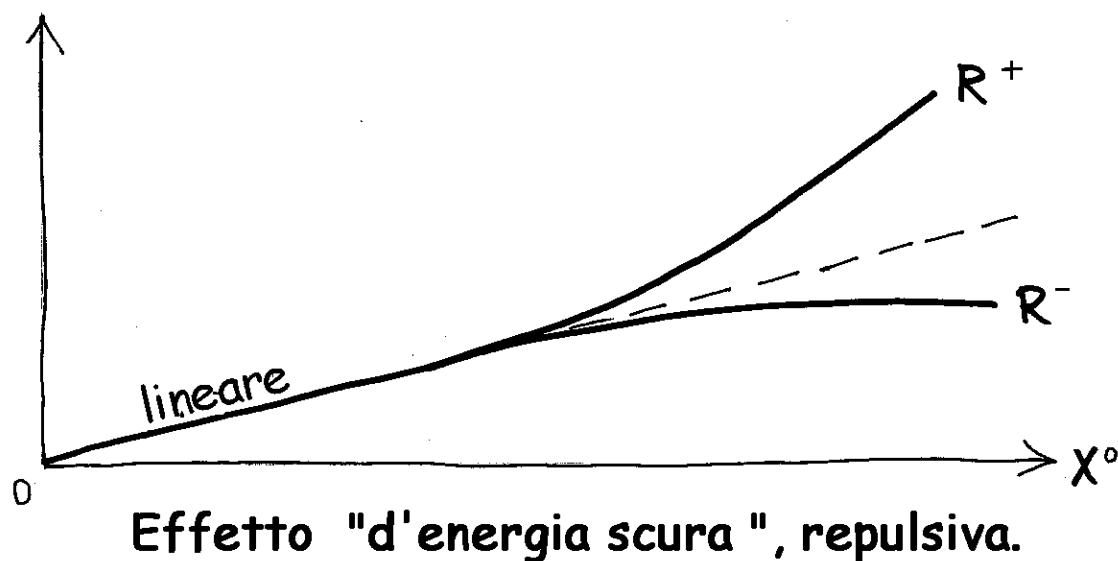
Per completare questo lavoro, dobbiamo ora ipotizzare come si possa effettuare un legame con il nostro modello cosmologico bimetrico, descritto nell'album :

**L'UNIVERSO GEMELLARE**

Questo modello fa apparire due fattori di scala  $R^+$  e  $R^-$ . Mettendo in funzione (non sappiamo fare diversamente in cosmologia) le ipotesi d'isotropia e omogeneità nelle due popolazioni di masse, abbiamo cercato delle 'soluzioni congiunte' sotto forma di metrica di Robertson-Walker, che ci hanno condotto al sistema di due equazioni differenziali che seguono:

$$\begin{cases} R^{+''} = \frac{1}{R^{+2}} \left[ \frac{R^{+3}}{R^{-3}} - 1 \right] \\ R^{-''} = \frac{1}{R^{-2}} \left[ \frac{R^{-3}}{R^{+3}} - 1 \right] \end{cases}$$

L'inizio di questa espansione con  $R^+ = R^-$  è lineare. Questa soluzione essendo instabile, una delle due popolazioni vede accelerarsi la sua espansione. È la nostra, ed abbiamo visto che questo modello spiegava questo



# INVARIANZA DI LORENTZ

Nell'universo primitivo, la legge d'evoluzione é lineare :  $R^+ = R^- \sim x^0$

Le metriche di Robertson-Walker, nell'ipotesi in cui l'indice di curvatura sia nullo, ( $k = 0$ ) hanno la forma comune :

$$ds^2 = dx^0{}^2 - R^2 [du^2 + u^2 d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2]$$

In coordinate cartesiane :

$$ds^2 = dx^0{}^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

Questo spazio é localmente invariante sotto l'azione del gruppo di Lorentz.

Per far apparire il legame con il modello a velocità della luce variabile, scriveremo :

$$x^0 \sim R ; dx^0 \sim dR \sim t^{-\frac{1}{3}} dt \sim \frac{dt}{\sqrt{R}} \sim c(t) dt$$

Ossia la relazione generale, che permette di passare dalla variabile cronologica  $x^0$  al tempo :  $dx^0 = c(t) dt$

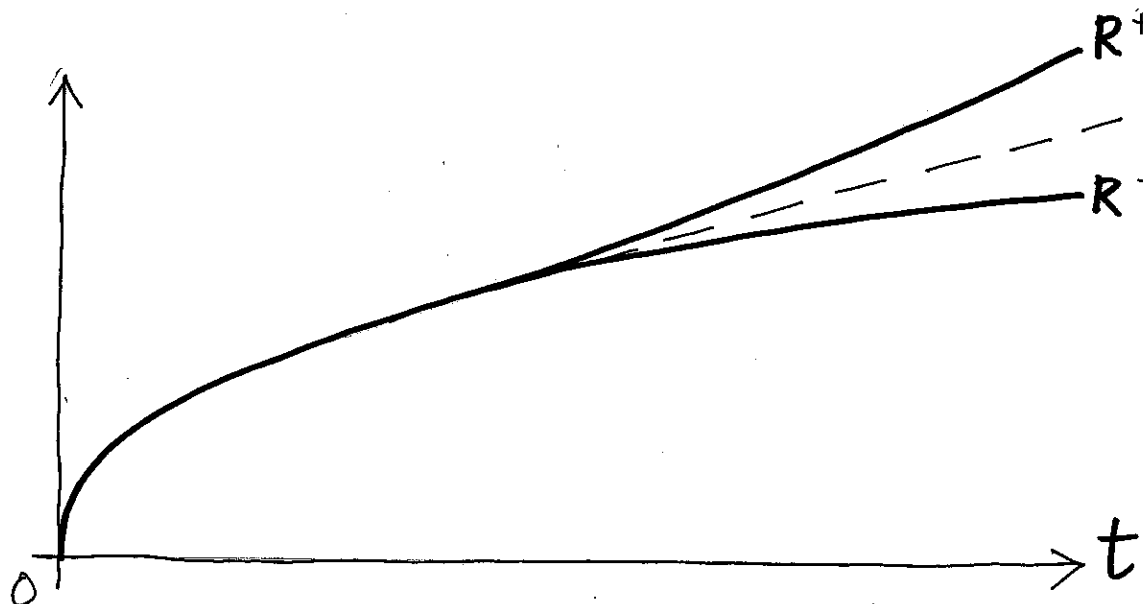
Prima della rottura di simmetria, abbiamo :  $dx^0 \sim t^{-\frac{1}{3}} dt \Rightarrow x^0 \sim t^{\frac{2}{3}}$

Dopo la rottura di simmetria, quando  $c$  si comporta come una costante assoluta, questo diventa :

$$x^0 = ct$$

# EVOLUZIONE

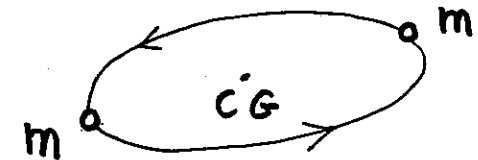
Questo diagramma ci permette di tracciare l'evoluzione della coppia cosmica in funzione del tempo, come lo abbiamo precedentemente definito.



# IL PARADOSSO DI ZENONE

Abbiamo ben compreso la definizione di questo parametro inafferrabile che chiamiamo "tempo" ?

Sarebbe presuntuoso da parte nostra. Al massimo abbiamo cercato di spiegare il paradosso dell'omogeneità dell'universo primitivo con un qualche cosa che sembra a priori meno dispendiosa in ipotesi che la teoria dell' **INFLAZIONE** . Ma l'esperienza di pensiero che segue ci mostrerà che non siamo senza dubbio alla fine dei nostri tormenti. Consideriamo una specie di orologio elementare costituito da due masse che orbitano attorno al loro centro di gravità comune. Andiamo a calcolare, supponendo che questo orologio, comprimibile alla stregua del resto dell'universo primitivo, arrivi ad attraversare le turbolenze cosmiche senza problemi, quanti giri ha effettuato dall'istante zero :



Il suo periodo di rotazione é :  $T = \frac{2\pi r^{3/2}}{Gm}$        $Gm = Cst$        $r \sim R$        $T \sim t \sim R^{3/2}$

Ed ecco il risultato ottenuto :  $N = \int_0^{R_0} \frac{dR}{R^{3/2}} = \left[ \frac{1}{\sqrt{R}} \right]_0^{R_0} = \text{infinito!}$

Sinceramente, ammiro le persone che riflettono seriamente sull'istante zero e vanno sino a chiedersi che cosa c'era "prima" .

