A.C.A. - Associazione Cernuschese Astrofili

L'ENERGIA OSCURA



by Andrea Grieco



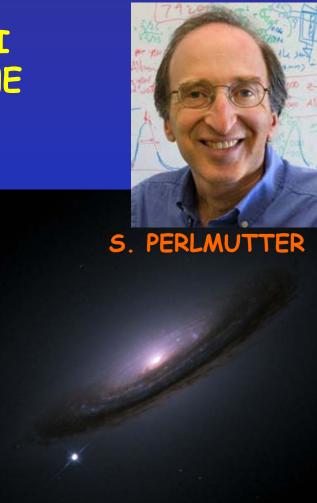
ACCELERARE

1998 "Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant" Riess et al. AJ



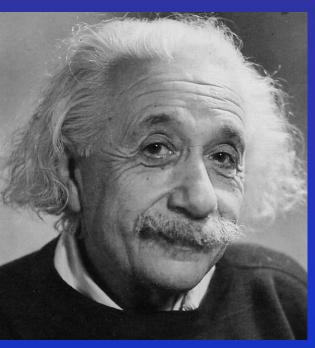
LE OSSERVAZIONI DI SUPERNOVAE LONTANE SUGGERISCONO CHE L'UNIVERSO SIA IN ESPANSIONE ACCELERATA

- > L'ACCELERAZIONE E' REALE?
- > COSA COMPORTA PER L'UNIVERSO?
- > L'ENERGIA OSCURA ESISTE VERAMENTE?



IL PIU' GRANDE ERRORE...

"Non tutto ciò che può essere contato conta. Non tutto ciò che conta può essere contato." Albert Einstein



A. EINSTEIN

1917 - EINSTEIN MODIFICA LE EQUAZIONI DI CAMPO DELLA RELATIVITA' GENERALE PER OTTENERE UN UNIVERSO STATICO

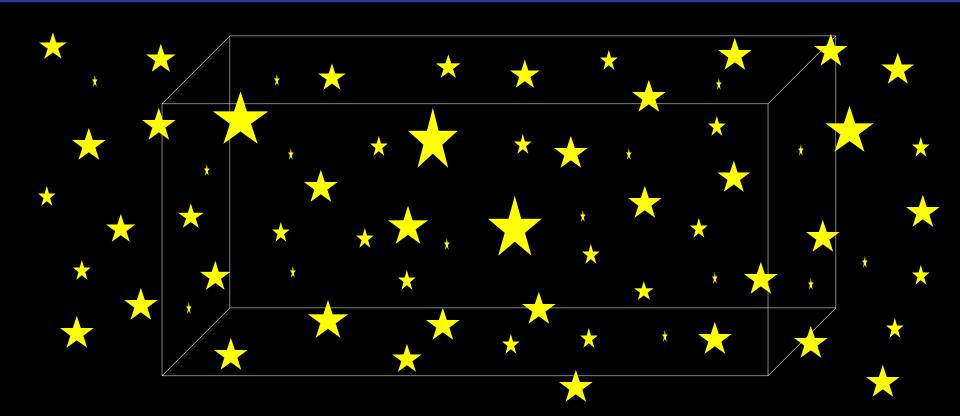




L'UNIVERSO DI NEWTON

UNIVERSO NEWTONIANO

- > SPAZIO ASSOLUTO EUCLIDEO INFINITO
 - > TEMPO ASSOLUTO ETERNO
- > DISTRIBUZIONE OMOGENEA E ISOTROPA DI STELLE

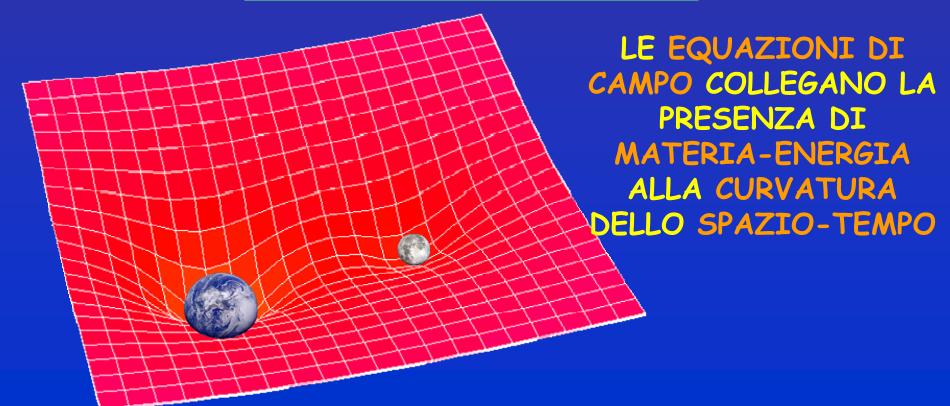




<u>GEOMETRIA</u>

1916 - "Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie" AdP

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

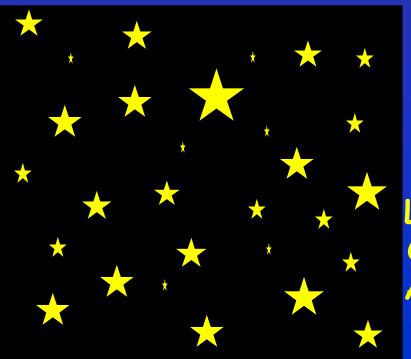




FERMARE L'UNIVERSO

1917 - EINSTEIN AGGIUNGE IL TERMINE A ALLE EQUAZIONI DI CAMPO PER OTTENERE UNA SOLUZIONE STATICA

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



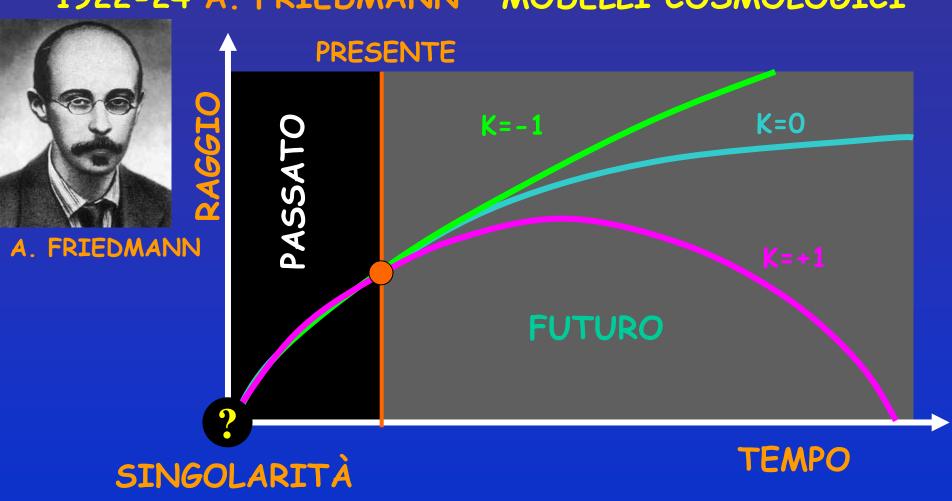
LA COSTANTE COSMOLOGICA A AGISCE IN MODO REPULSIVO PER BILANCIARE LA GRAVITA'

L'UNIVERSO E' STATICO MA PER OTTENERE CIO' OCCORRE CHE A ABBIA UN VALORE BEN PRECISO



3 SCELTE

1922-24 A. FRIEDMANN - MODELLI COSMOLOGICI



SINGOLARITA L'UNIVERSO NON PUO' ESSERE STATICO



GALASSIE...

1924 - E. HUBBLE: LE NEBULOSE SONO OGGETTI ESTERNI ALLA NOSTRA GALASSIA



E. HUBBLE

TELESCOPIO HOOKER 100" MT. WILSON

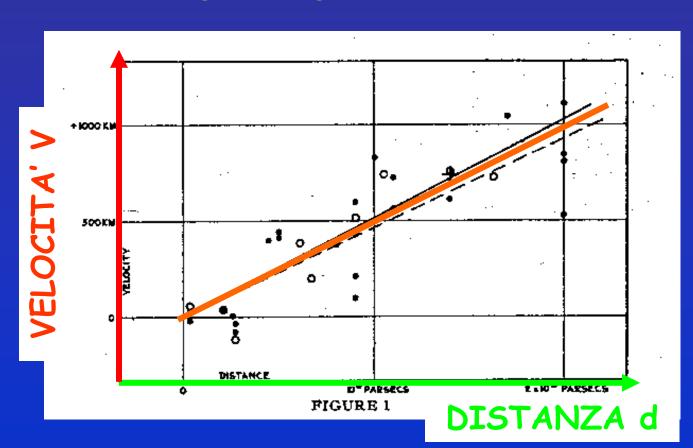
ANDROMEDA

D = 2.2 Mly



<u>...IN FUGA</u>

1929 E. HUBBLE "A Relation Between Distance And Radial Velocity Among Extra-galactic Nebulae" Proc. Nat. Ac. Sci.



LE GALASSIE SI ALLONTANANO CON VELOCITA' PROPORZIONALE ALLA DISTANZA

 $V = H_0 d$

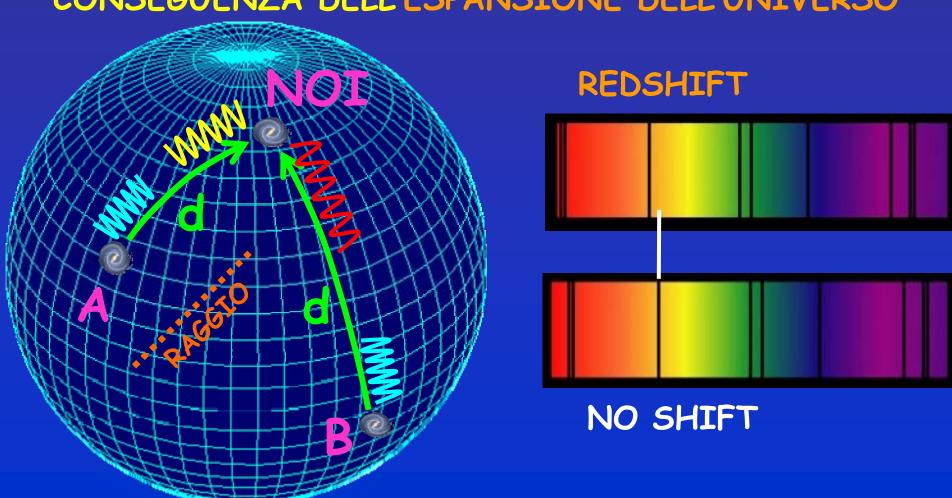
 $H_0 \sim 70$ Km/s Mpc

GRAFICO DI HUBBLE PER 22 NEBULOSE



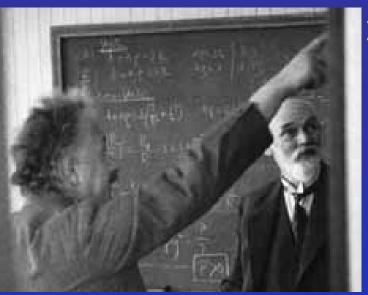
REDSHIFT

LO SPOSTAMENTO VERSO IL ROSSO (REDSHIFT) DEGLI SPETTRI DELLE GALASSIE E' INTERPRETATO COME CONSEGUENZA DELL'ESPANSIONE DELL'UNIVERSO





RINNEGARE LAMBDA



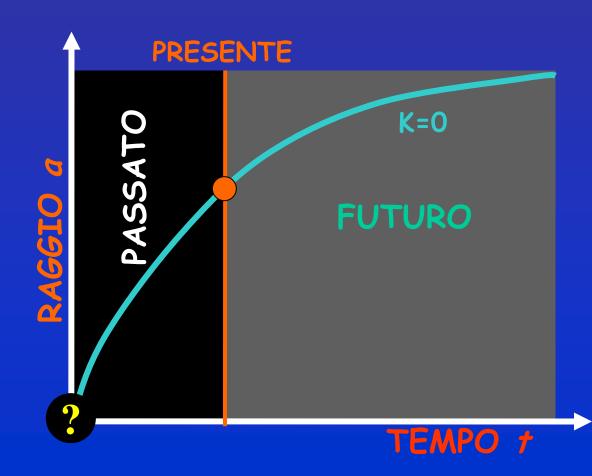
EINSTEIN E DE SITTER

$$a \propto \sqrt[3]{t^2}$$

$$\frac{da}{dt} = H_0 a$$

$$H_0 \propto \frac{1}{t}$$

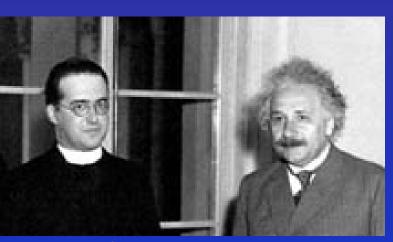
1932 A. EINSTEIN, W. DE SITTER MODELLO IN ESPANSIONE CON CURVATURA NULLA E A NULLA



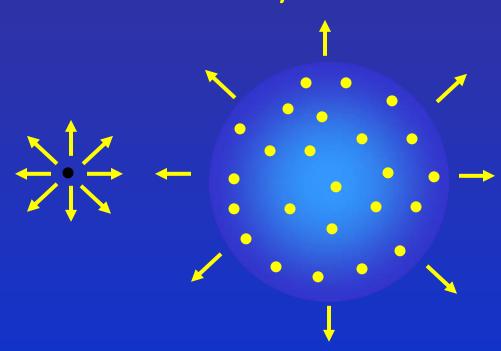


L'UOVO COSMICO

1932 G. H. LEMAÎTRE "Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques" Annales de la Société Scientifique de Bruxelles



LEMAÎTRE E EINSTEIN



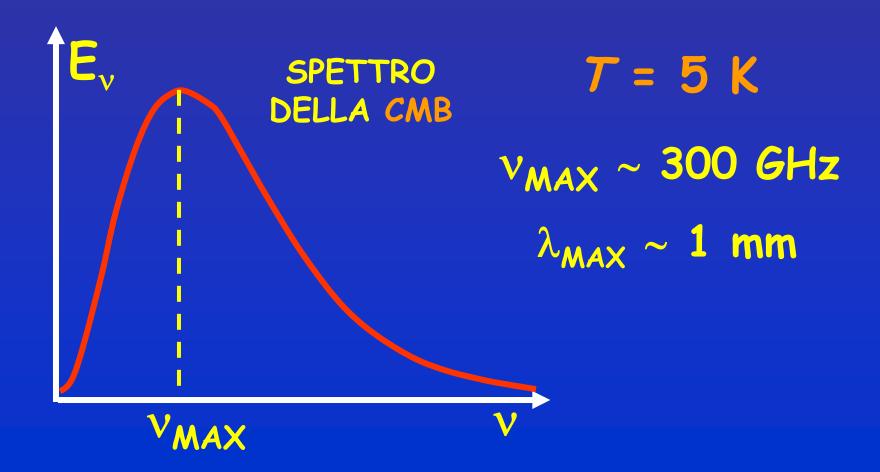
L'UNIVERSO E' VENUTO IN ESSERE DA UN ATOMO PRIMORDIALE O UOVO COSMICO, ESPLOSO AL MOMENTO DELLA CREAZIONE

NEL 1949 F. HOYLE CONIO' IL TERMINE BIG BANG



LE CENERI DEL BIG BANG

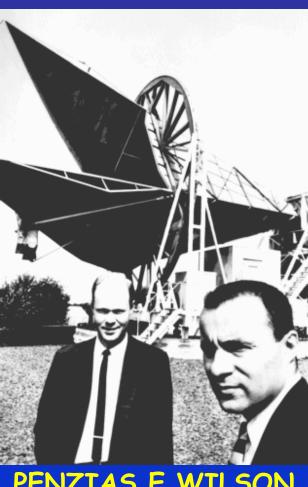
1948 GAMOW ESISTENZA DI UNA RADIAZIONE DI FONDO A MICROONDE RESIDUO DEL BIG BANG COSMIC MICROWAWE BACKGROUND

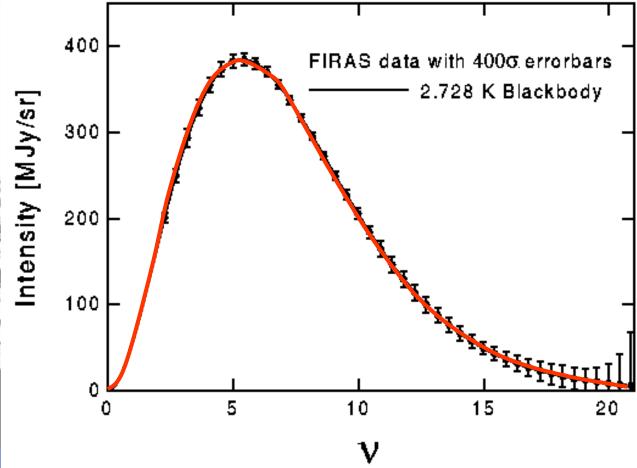




PROBLEMI ALL'ANTENNA

1965 A. PENZIAS R. WILSON SCOPRONO LA COSMIC MICROWAWE BACKGROUND RADIATION



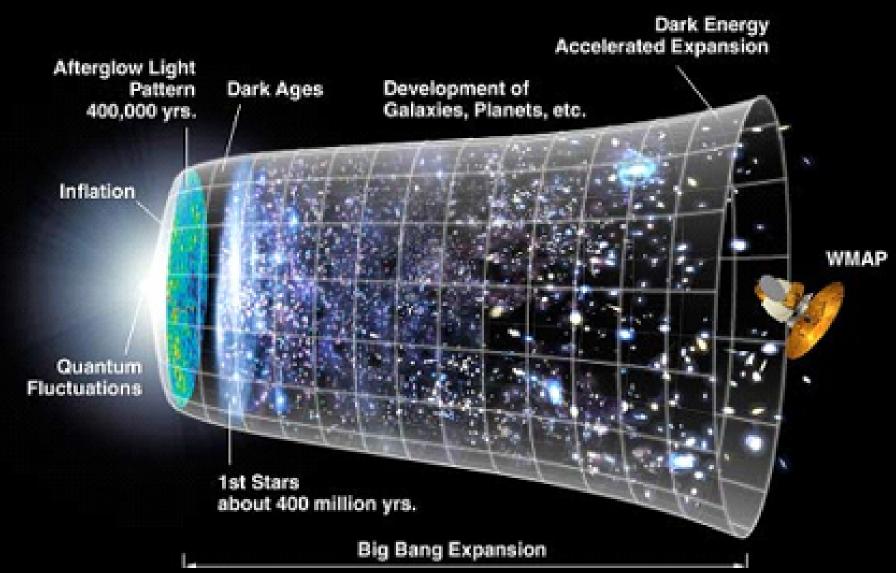


PENZIAS E WILSON CON L'ANTENNA

SPETTRO CMB



BIG BANG

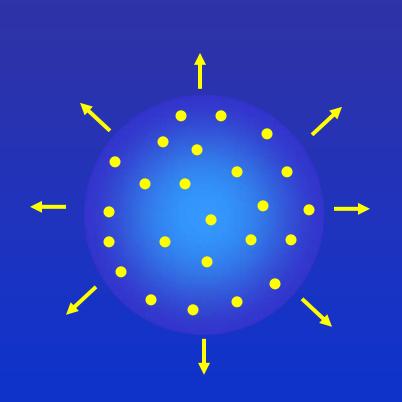


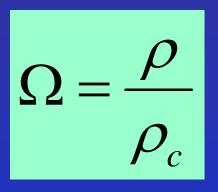
SCHEMA DELLA TEORIA DEL BIG BANG Credit: NASA



DENSITA' CRITICA

LA DENSITA' CRITICA ρ_c E' LA DENSITA' MINIMA NECESSARIA A FERMARE L'ESPANSIONE DELL'UNIVERSO





PARAMETRO Ω

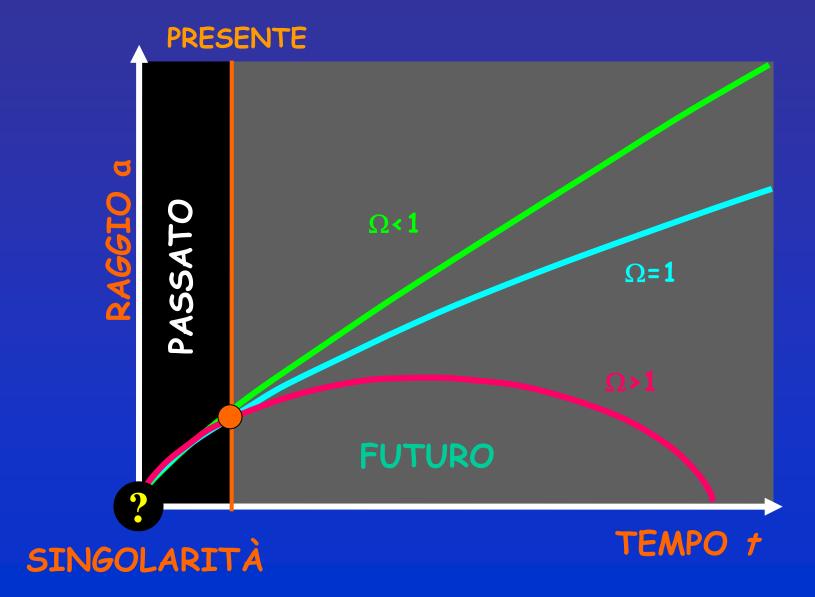
Ω<1 UNIVERSO APERTO

 $\Omega > 1$ UNIVERSO CHIUSO

LA MATERIA-ENERGIA PRESENTE NELL'UNIVERSO RALLENTA IN OGNI CASO L'ESPANSIONE



QUALE FUTURO?





QUANTO VALE Ω?

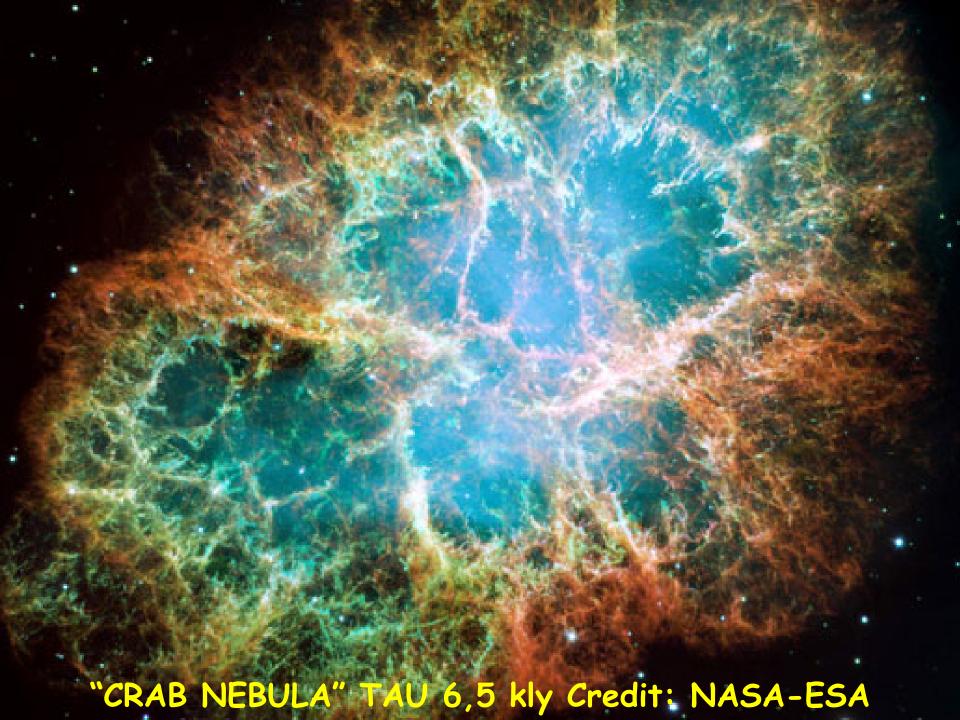
UNIVERSO CHIUSO $\Omega > 1$

DIVERSI CONTRIBUTI PER Ω

MATERIA OSCURA $\Omega_{\rm D}$ ~0,22

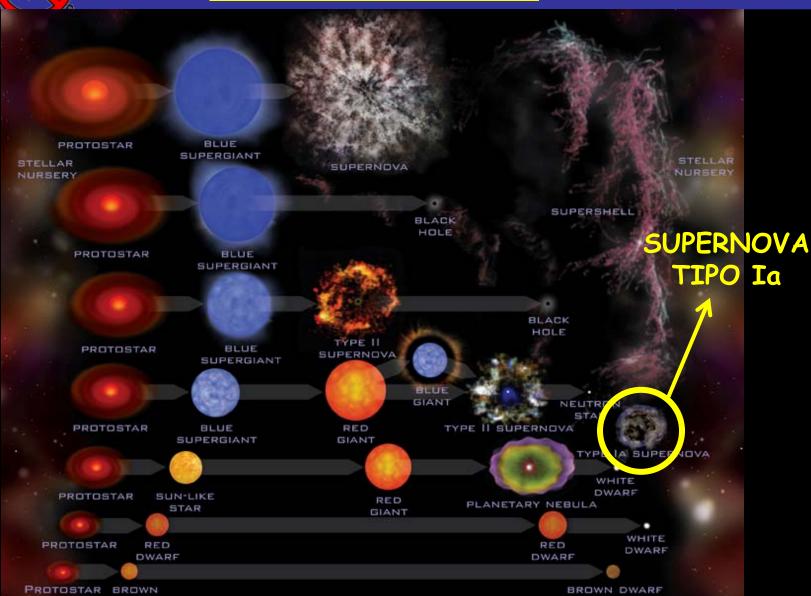
MATERIA BARIONICA $\Omega_B \sim 0.04$

FOTONI E NEUTRINI $\Omega_{\rm R}{\sim}10^{-4}$



VITA DA STELLA

D.C.4



SCHEMA DELL'EVOLUZIONE STELLARE Credit: NASA/CXC/M. Weiss



BOLLE DI GAS



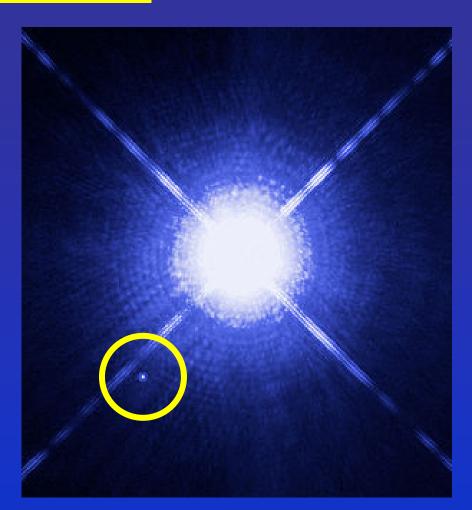
NEB. PLANET. "OCCHIO DI GATTO" 3 kly Dra Credit: HST/NASA



NANE BIANCHE

He, C ELETTRONI DEGENERI M* < 1,44 M°

 $\sim 12.000 \text{ km}$ $T_s \approx 10^5 \text{ K}$ $\rho \approx 10^6 \text{ g/cm}^3$



SIRIUS A E B
Credit: HST/NASA

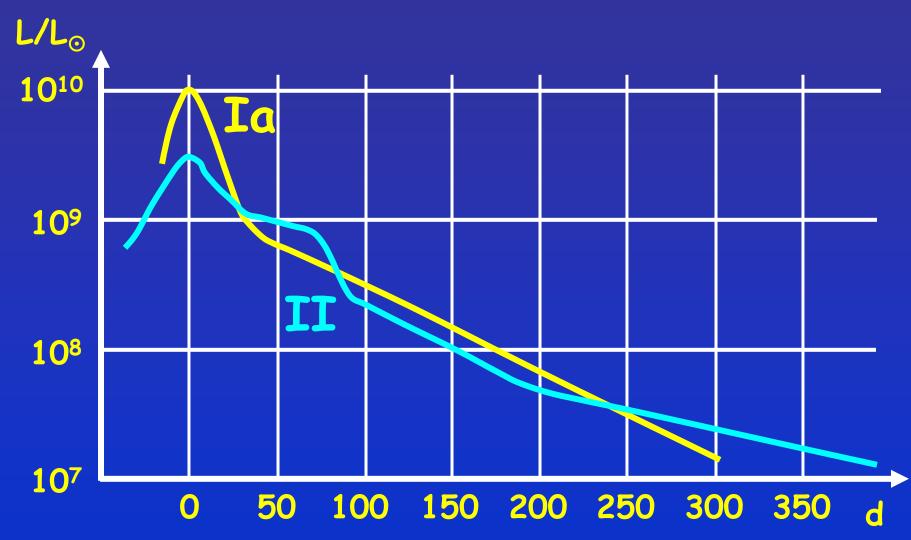




SN 1572 Tycho Cas 7,5 kly Credit: NASA/CXC/JPL-Caltech/Calar Alto O. Krause et al.



CURVA DI LUCE



CURVE DI LUCE DI SUPERNOVAE



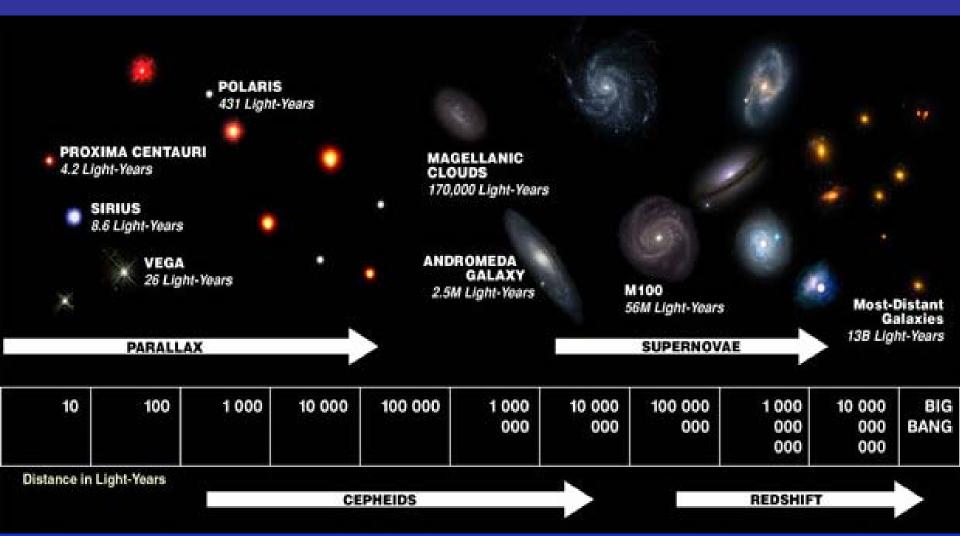
A CACCIA DI SUPERNOVAE

SN 1994 D Ia IN NGC 4526 Credit: High-Z Supernova Search Team, HST, NASA





QUANTO E' LONTANO?

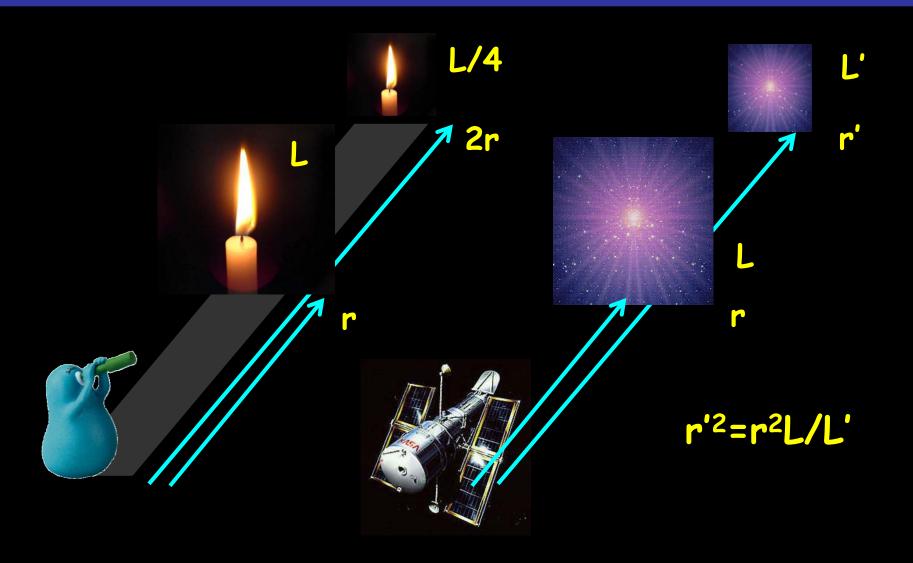


ALCUNE TECNICHE PER LA MISURA DELLE DISTANZE IN ASTRONOMIA Credit: T. JONES, D. BENNINGFIELD



CANDELE STANDARD

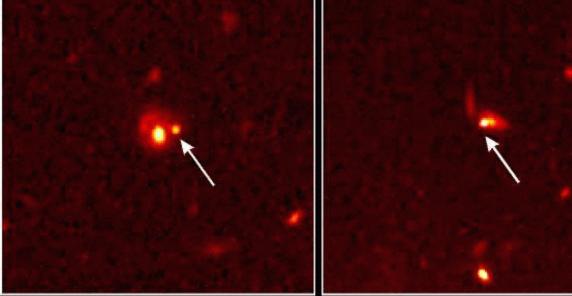
MISURA DI DISTANZE CON CANDELE STANDARD

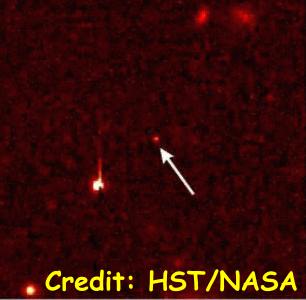




LO Z-TEAM E IL SNCP









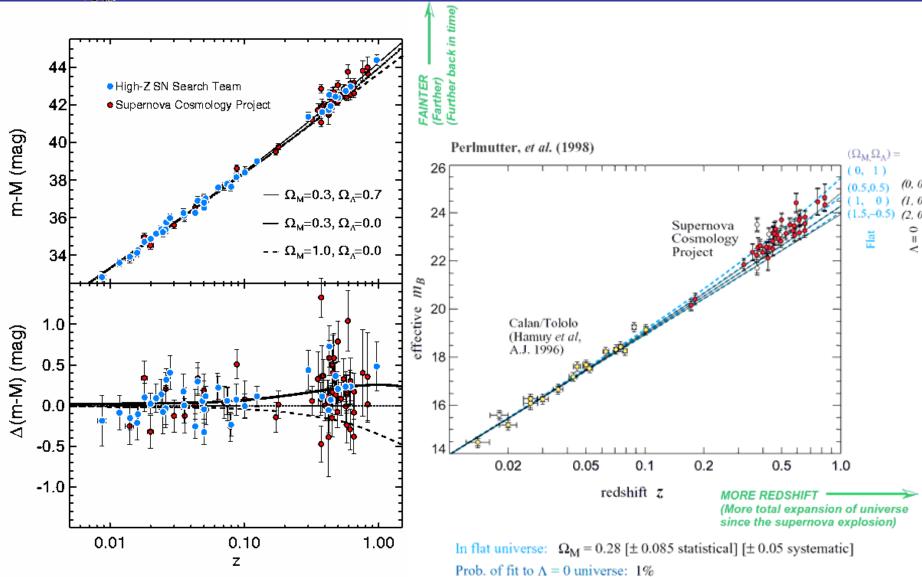
PIU' DEBOLI

LE SUPERNOVAE APPAIONO MENO LUMINOSE DI QUANTO CI SI ATTENDE STIMANDO LA DISTANZA CON IL REDSHIFT COSMOLOGICO





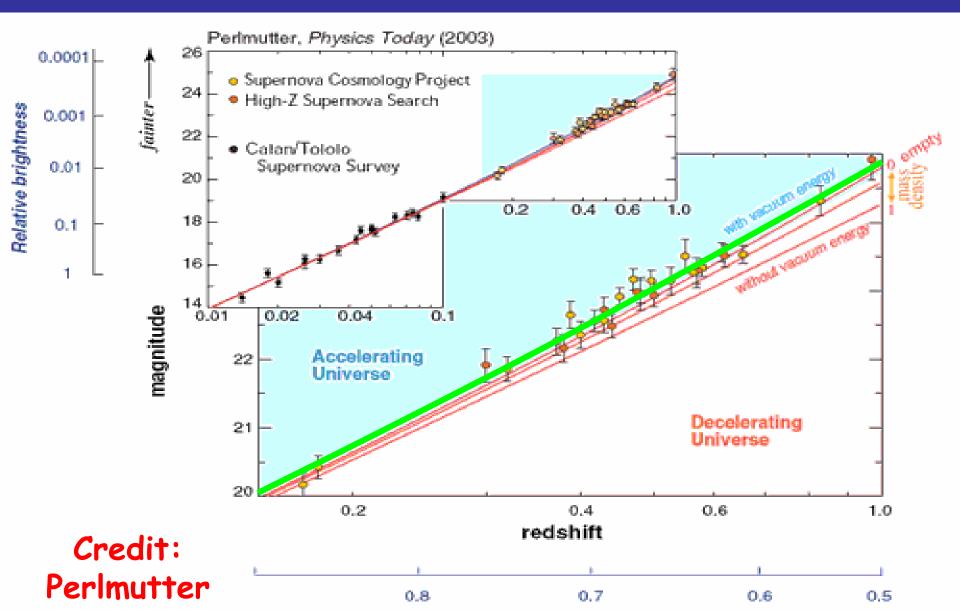
RISULTATI 1



RISULTATI DELLO Z-TEAM E DEL SN COSMOLOGICAL PROJECT



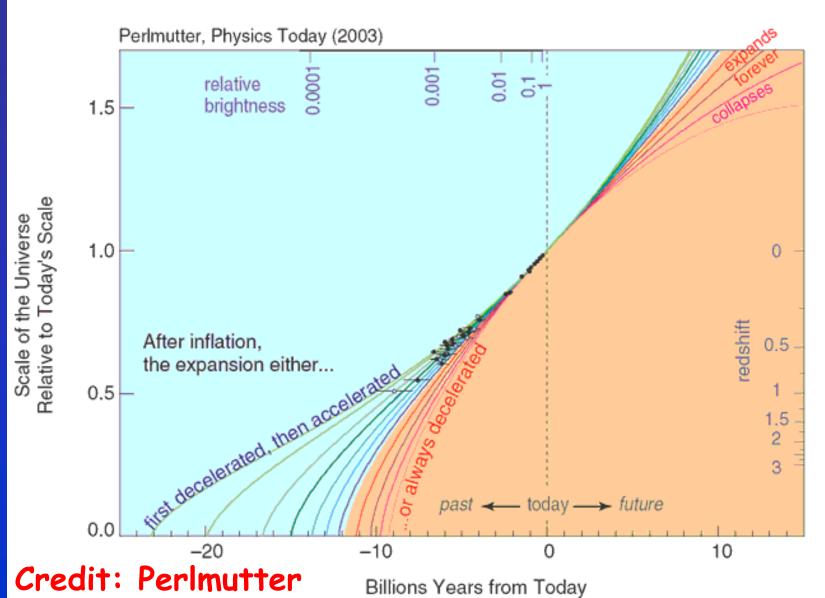
RISULTATI 2





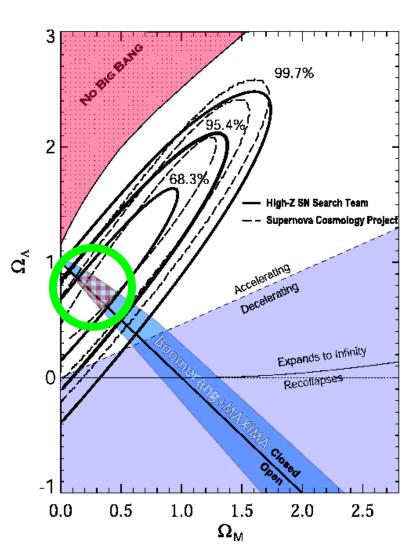
STORIA UNIVERSALE

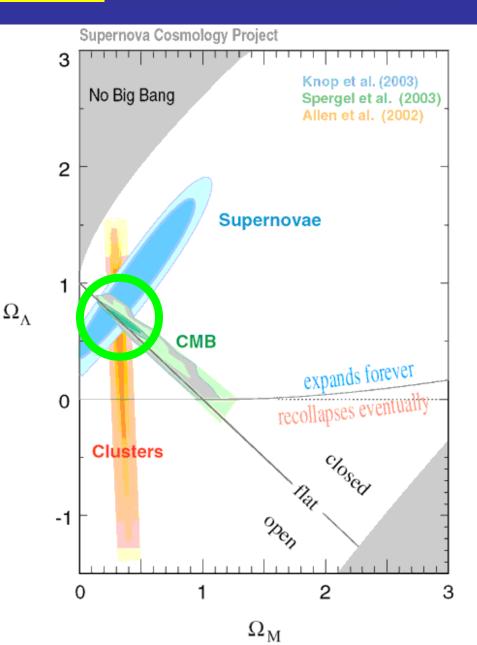
Expansion History of the Universe





FLATNESS?

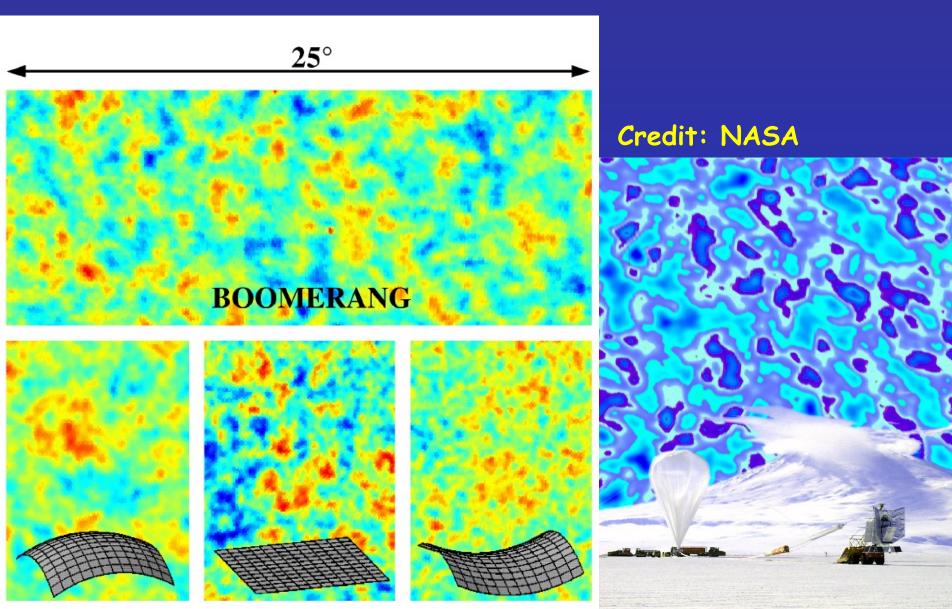




Credit: Perlmutter



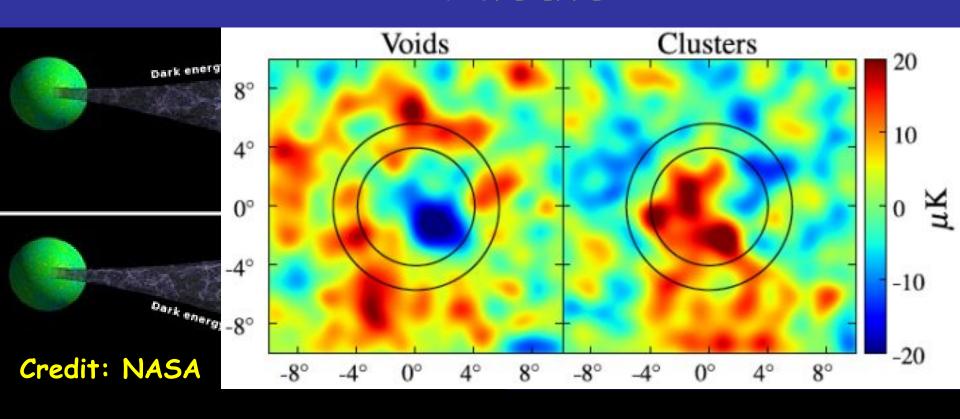
BOOMERANG

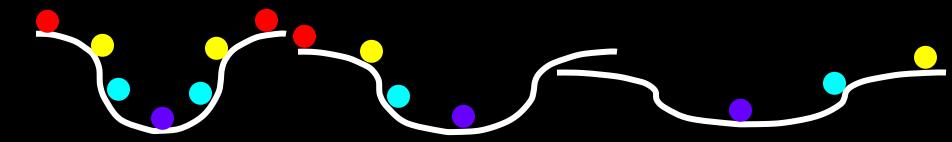




FOTONI CALDI E FREDDI

SACHS-WOLFE EFFECT







RIASSUMENDO

ENERGIA OSCURA

- > RIEMPIE LO SPAZIO IN MODO UNIFORME $\rho \sim 10^{-29} \text{ g/cm}^3$
 - \rightarrow PARAMETRO $\Omega_{\rm D} \sim 0.7$
 - > INTERAGISCE SOLO GRAVITAZIONALMENTE
 - > HA UNA PRESSIONE NEGATIVA

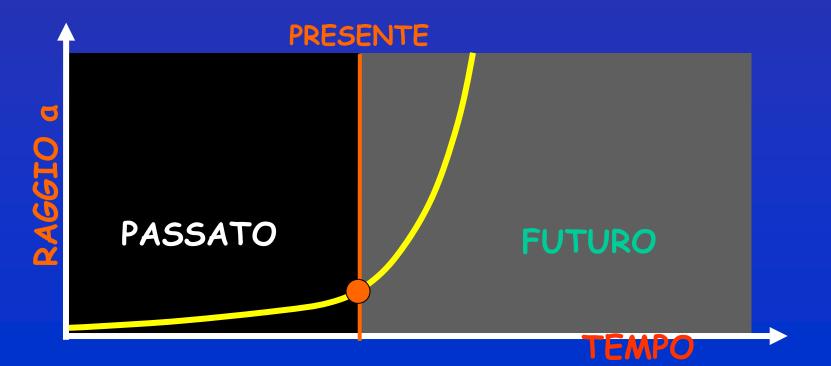


RIABILITARE LAMBDA

A PUO' SPIEGARE L'ACCELERAZIONE COSMOLOGICA

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

1917 DE SITTER - MODELLO DI UNIVERSO CON A≠0





ENERGIA DAL VUOTO

FLUTTUAZIONI QUANTISTICHE DEL VUOTO



PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE DI EISENBERG



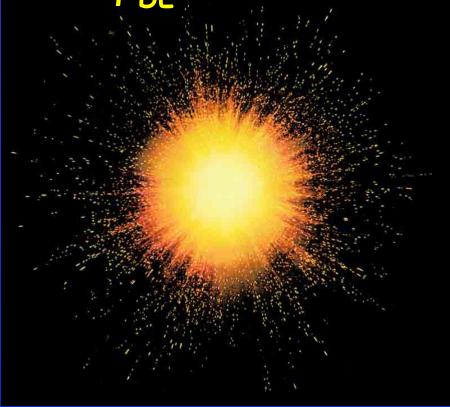


PICCOLI ERRORI!

L'ENERGIA DEL VUOTO

PDE ~ 3x109 Ev/m3 OSSERVATO

PDE ~ 3x10121 Ev/m3 CALCOLATO



- > NESSUNA STRUTTURA
 PUO' FORMARSI
- ➤ COSA CANCELLA L'ENERGIA DI PUNTO ZERO?



LA TEORIA DELLE STRINGHE PREVEDE UN "PAESAGGIO" DI 10⁵⁰⁰ UNIVERSI CIASCUNO CON LE SUE LEGGI

IL "PRINCIPIO ANTROPICO" POTREBBE DETERMINARE L'UNIVERSO IN CUI VIVIAMO



QUINTESSENZA

CAMPO SCALARE DINAMICO



$$w = \frac{p}{\rho}$$

$$\rho \propto a^{-3(1+w)}$$

$$w = \frac{(\dot{\phi})^2 - 2V(\phi)}{(\dot{\phi})^2 - 2V(\phi)}$$

$$w = \frac{\left(\phi\right) - 2V(\phi)}{\left(\phi\right)^2 - 2V(\phi)}$$



GIOCARE COL CAMPO

CAMPO SCALARE PER DESCRIVERE LA DARK ENERGY

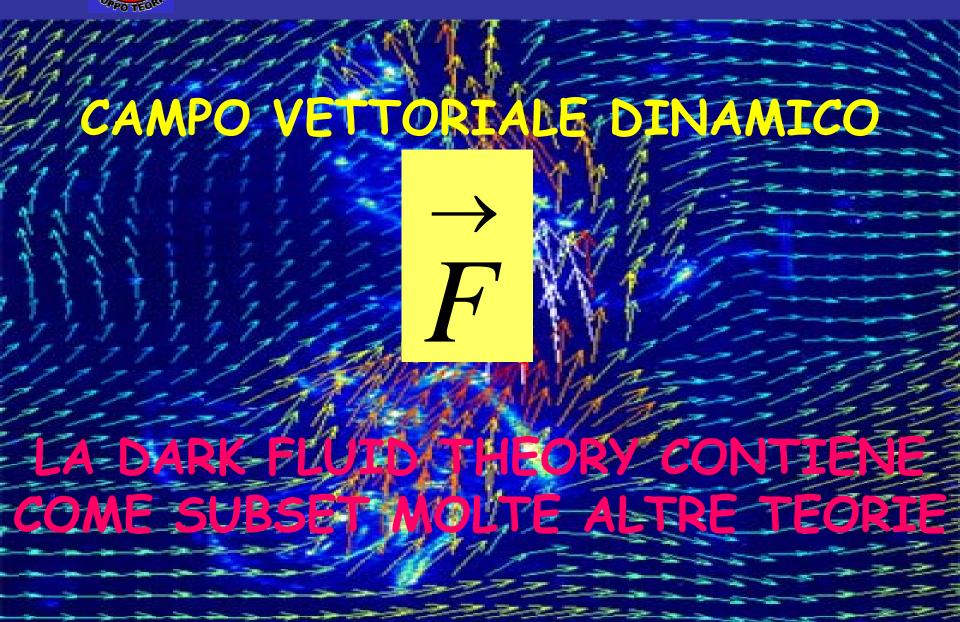
SIAMO QUI

$$\frac{a}{a} = -\frac{4}{3}\pi G(1+3w)\rho$$



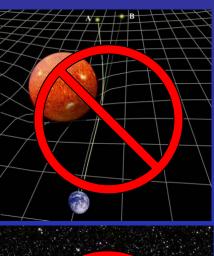


DARK FLUID





ALTERNATIVE?



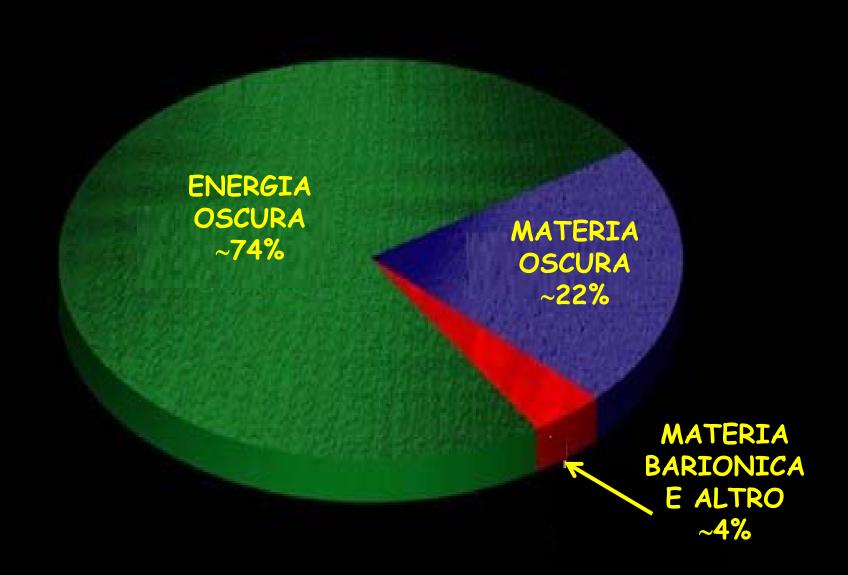
LA RELATIVITA' GENERALE NON SI APPLICA SU SCALA UNIVERSALE

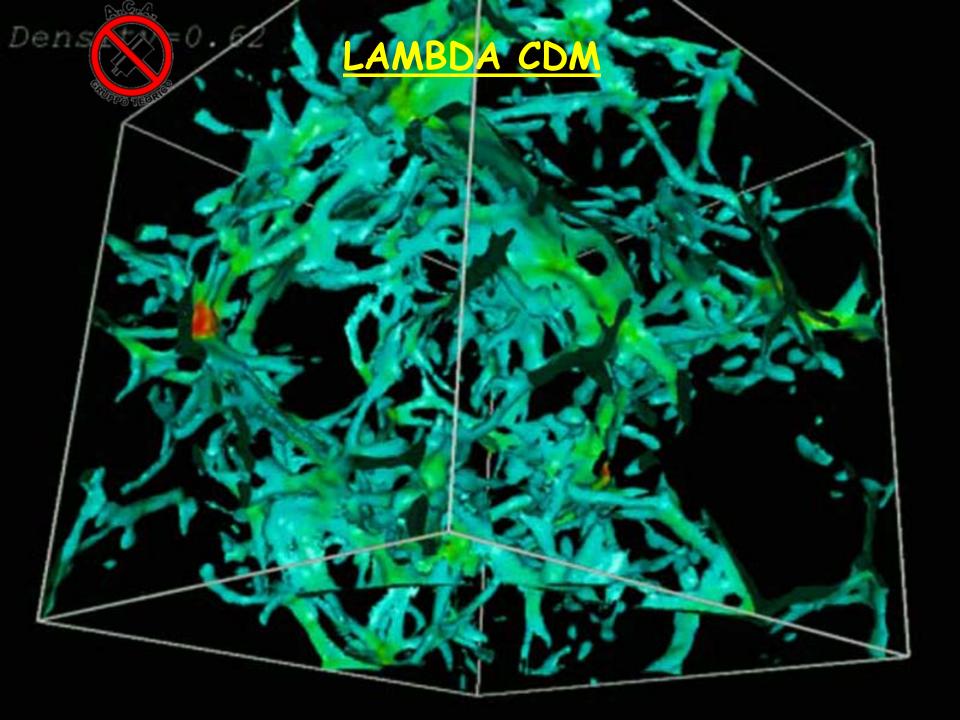


NON ABBIAMO COMPRESO LA FISICA DELLE SUPERNOVAE



LA FETTA PIU' GRANDE







TIRO ALLA FUNE

L'ACCELERAZIONE PRODOTTA DALLA MATERIA OSCURA SEMBRA AUMENTARE NEL TEMPO Credit: NASA

