

A.C.A. - Associazione Cernuschese Astrofili

# LA MATERIA OSCURA



by Andrea Grieco

# IL LATO OSCURO



*"There is no dark side of the moon really. Matter of fact it's all dark"*

**"Eclipse" da The Dark Side of the Moon PINK FLOYD**



# MATERIA OSCURA

SEMBRA CHE LA MATERIA PRESENTE NELL'UNIVERSO  
SIA PER LA MAGGIOR PARTE SOTTO UNA FORMA CHE  
NON EMETTE NE' RIFLETTE ALCUN TIPO DI  
RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA

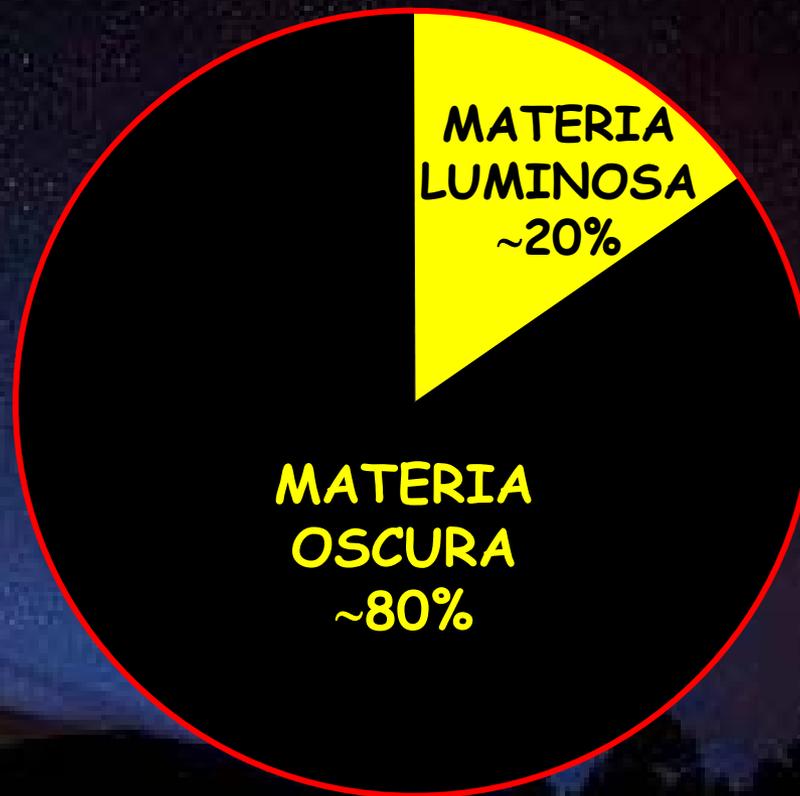
## LA MATERIA OSCURA

- OSCURA PERCHE' NON EMETTE LUCE NE' ALTRA RADIAZIONE
- OSCURA PERCHE' E' NASCOSTA TRA LE GALASSIE
- OSCURA PERCHE' NON SAPPIAMO DA COSA SIA COMPOSTA



# CIO' CHE NON SI VEDE

SECONDO LE STIME ATTUALI CIRCA L'80% DELLA MATERIA PRESENTE NELL'UNIVERSO E' SOTTO FORMA DI MATERIA OSCURA



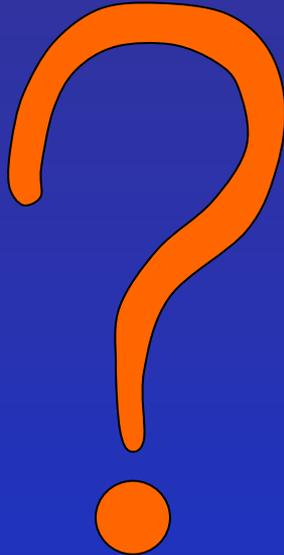


# QUALCOSA MANCA

1933 F. ZWICKY "Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln" Helv. Phys. Acta



F. ZWICKY



**APPLICANDO IL TEOREMA DEL  
VIRIALE ALLE GALASSIE  
DELL'AMMASSO DELLA CHIOMA  
DI BERENICE TROVA UNA MASSA  
DA 150 A 400 VOLTE QUELLA  
DEDOTTA DALLA MATERIA  
LUMINOSA**

COMA CLUSTER 300 Mly - Credit :  
O. Lopez-Cruz (INAOEP) et al.



# FUGGIRE DALL'AMMASSO

LE VELOCITA' SONO TROPPO ALTE → CI DEVE ESSERE MASSA CHE  
NON "VEDIAMO"





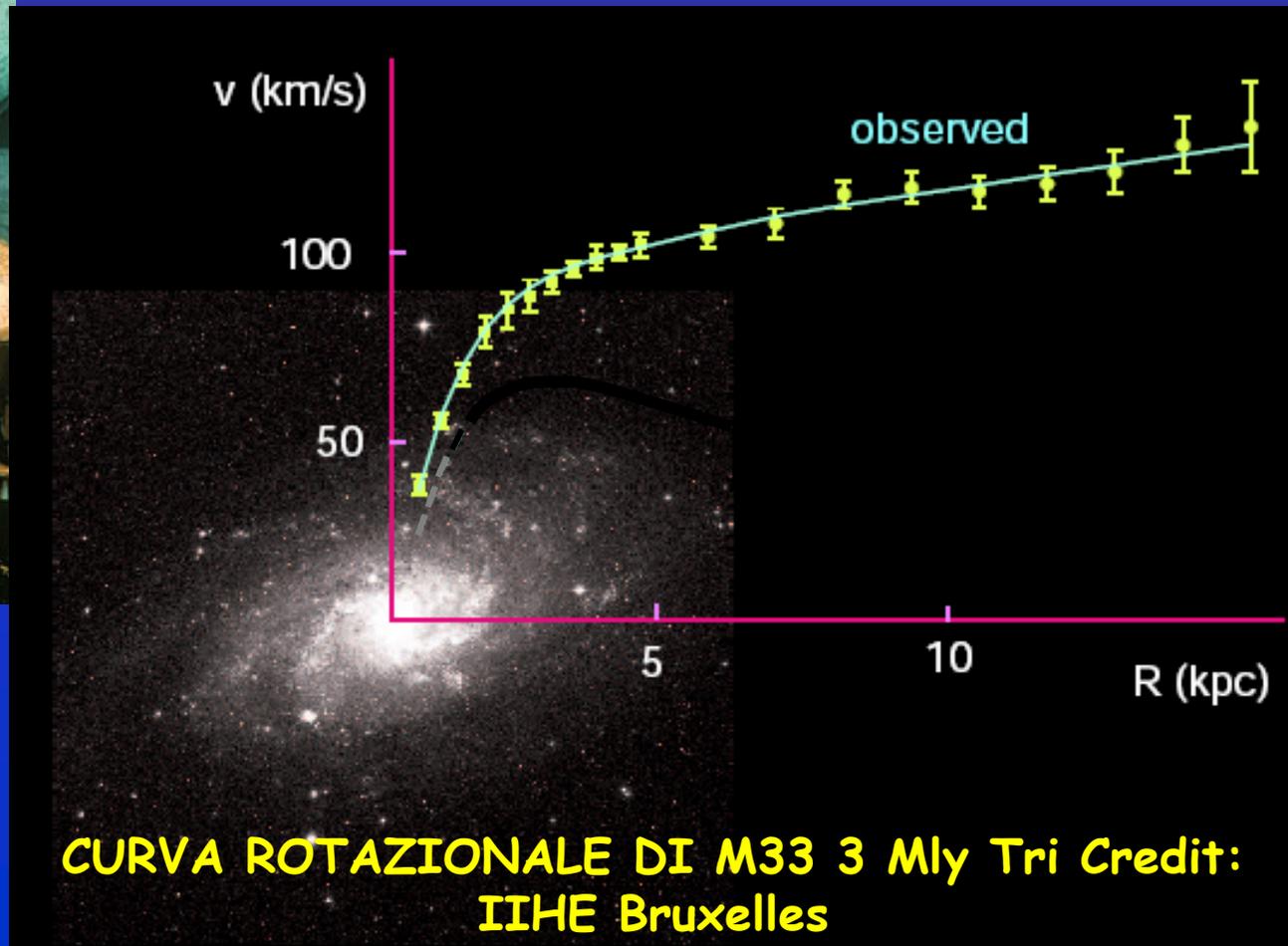
# VERA & LOUISE

1959 L. VOLDERS - CURVA ROTAZIONALE DI M33

1970-80 V. RUBIN - CURVE DI ROTAZIONE DI MOLTE GALASSIE



VERA RUBIN



CURVA ROTAZIONALE DI M33 3 Mly Tri Credit:  
IIHE Bruxelles



# CITTA' DI STELLE

ALONE



BULGE



STELLE, GAS,  
POLVERI

DISCO



M31 "ANDROMEDA" 2,2 Mly And Credit: R. Gendler



# VARIETA'



S0



Sa



Sb



Sc



(Barred examples)



# GIRANDOLE COSMICHE

COME RUOTANO LE STELLE, I GAS E LE POLVERI  
NELLE GALASSIE?



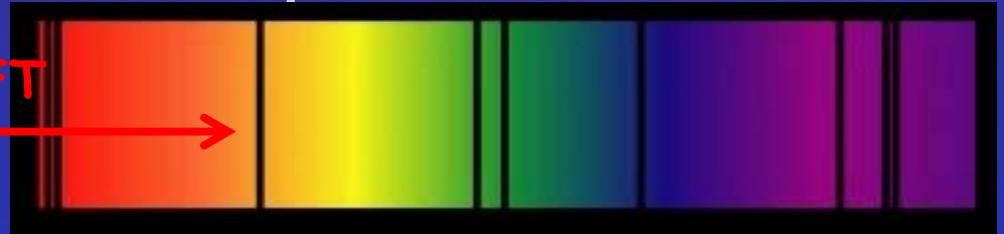
M101 "GIRANDOLA" 24 Mly Una Credit: NASA, ESA, CFHT, NOAO

# DOPPLER

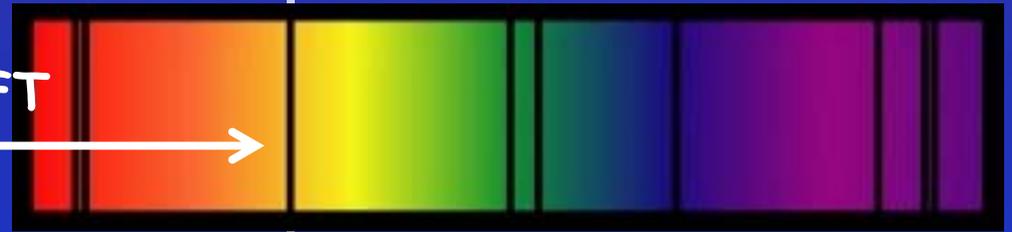


M81 12 Mly Uma  
Credit: NASA

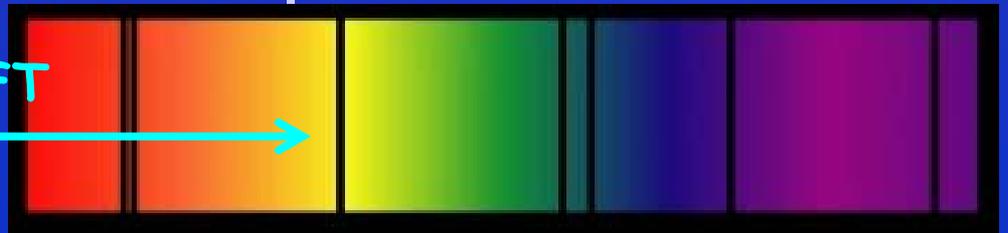
REDSHIFT



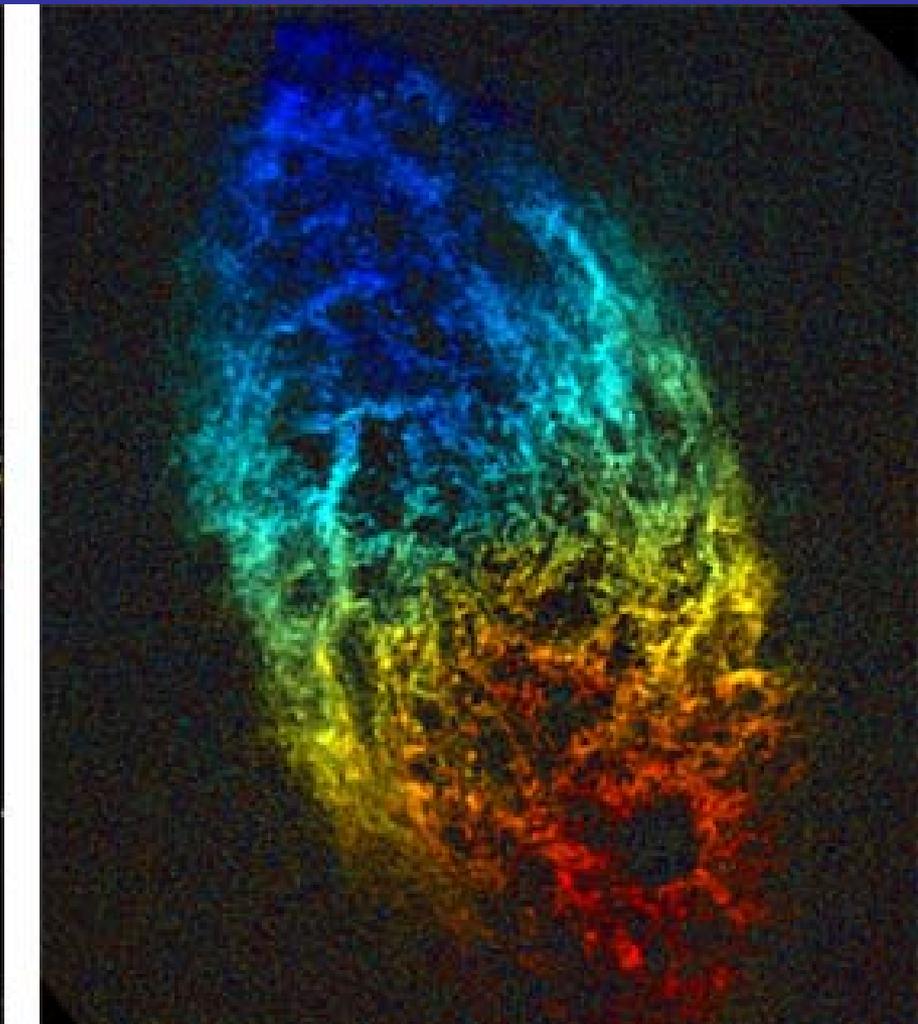
NO SHIFT



BLUESHIFT

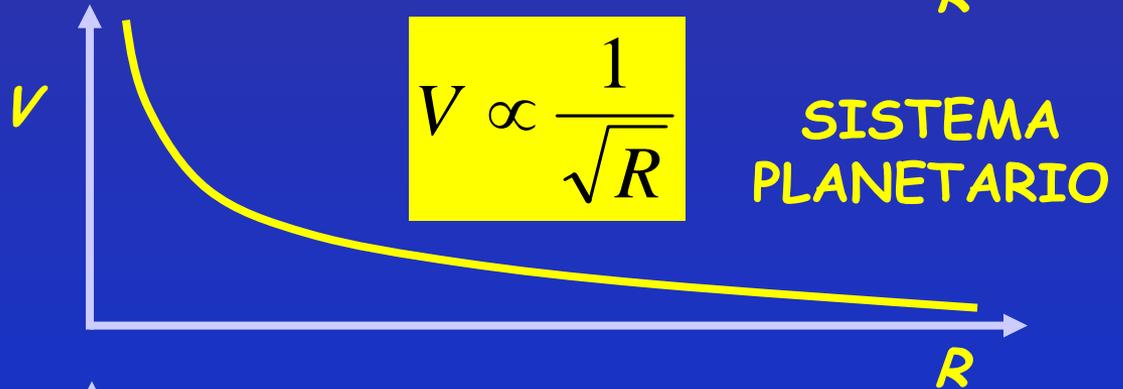
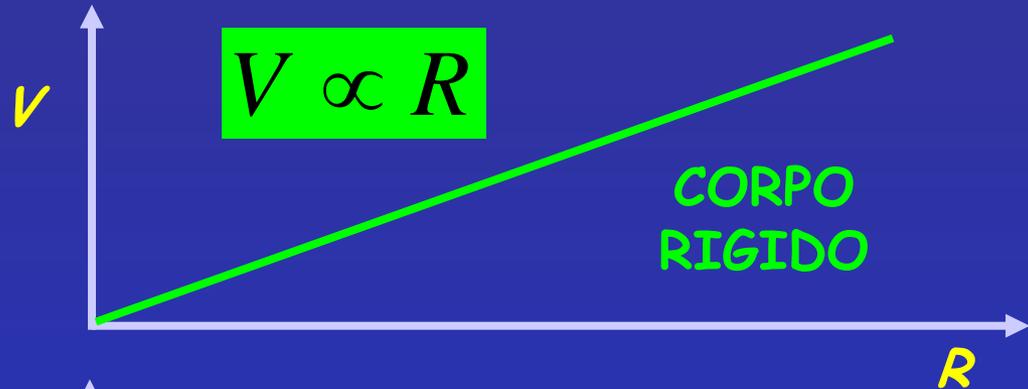


# "VEDERE" LA ROTAZIONE



**M33 3 Mly Tri NEL VISIBILE E ALLA RIGA 21 cm IDROGENO  
NEUTRO CON EFFETTO DOPPLER EVIDENZIATO Credit:  
NOAO/AURA/NSF/T.A.Rector e NRAO/AUI**

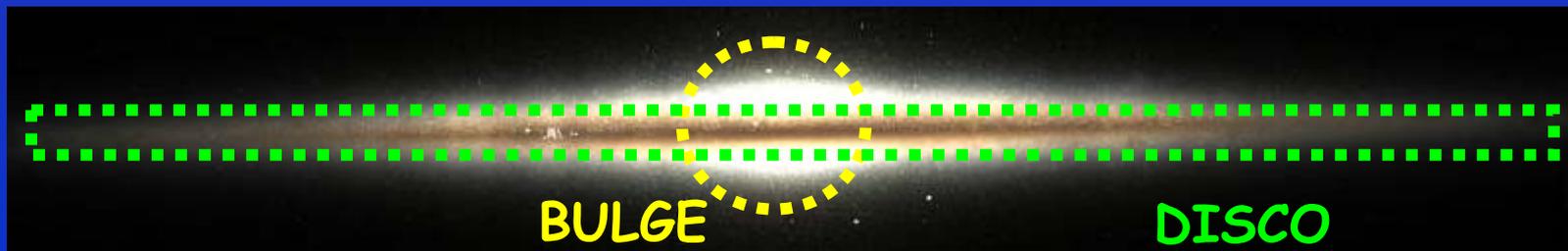
# GIROTONDO COSMICO





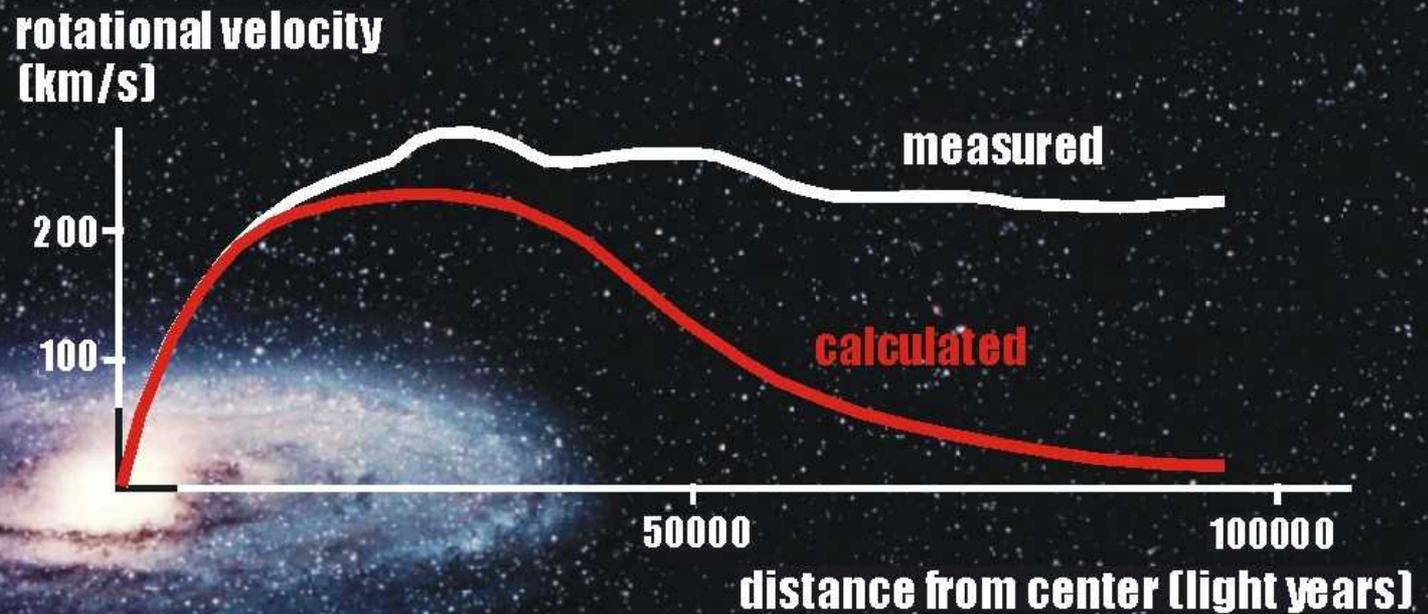
# COME DOVREBBE RUOTARE

IN BASE ALLA MATERIA  
VISIBILE UNA GALASSIA A  
SPIRALE DOVREBBE  
RUOTARE COME UN CORPO  
RIGIDO NELLE REGIONI  
CENTRALI E IN MODO  
KEPLERIANO IN PERIFERIA,  
LE OSSEVAZIONI  
CONTRADDICONO QUESTO  
MODELLO



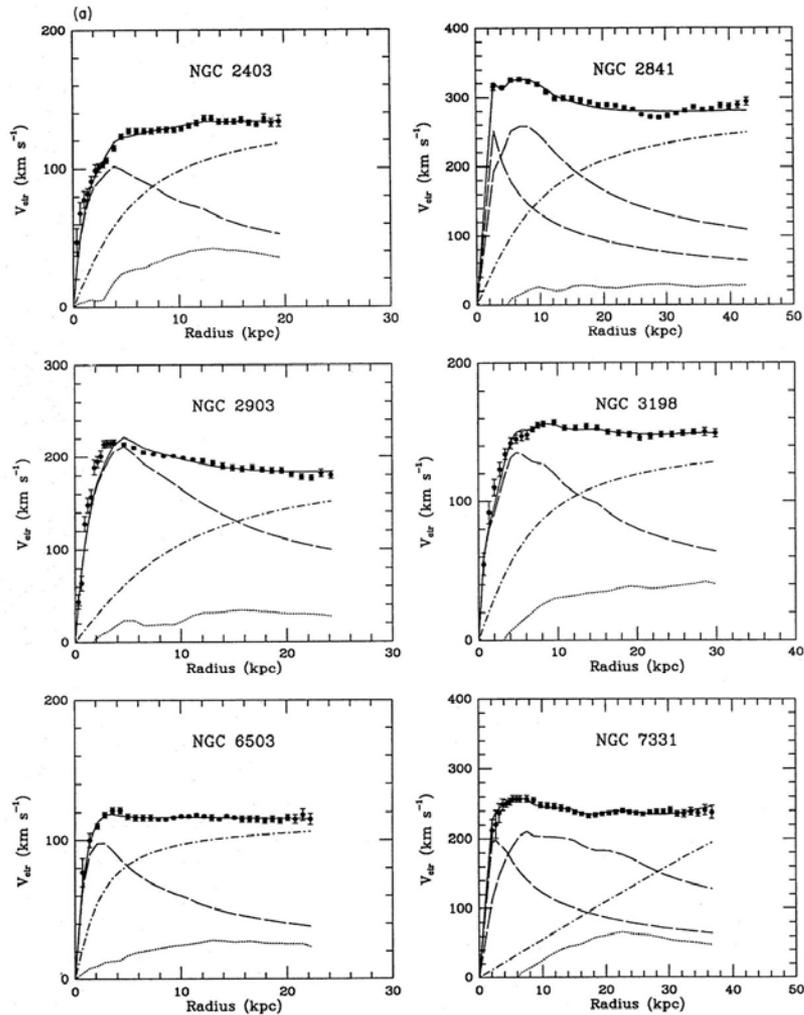


# TEORIA E PRATICA



CONFRONTO TRA CURVA DI ROTAZIONE **TEORICA** E OSSERVATA

# ALTRE GALASSIE

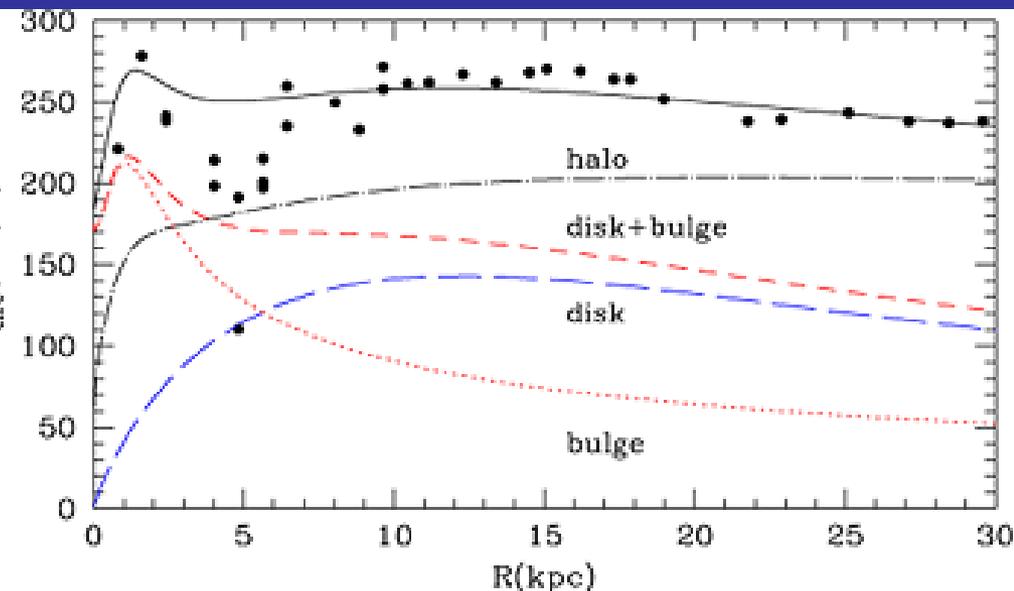
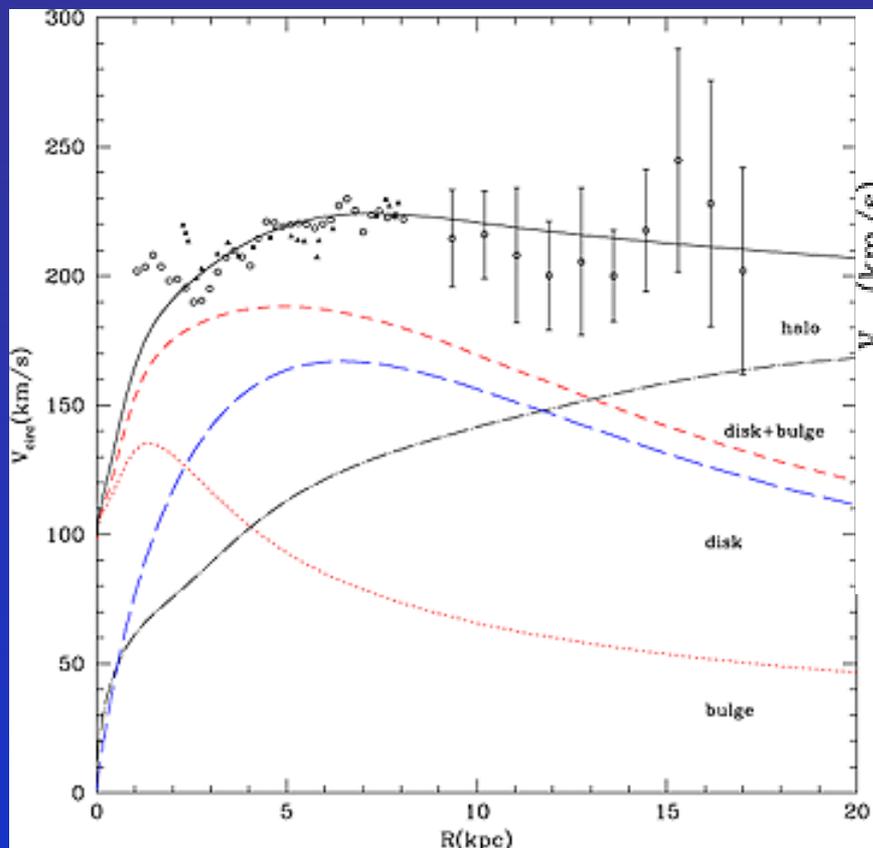


Credit: Begeman, Broeils, Sanders,  
*Mon. Not. R. astr. Soc.*, 1991

Credit: NASA



# VIA LATTEA E ANDROMEDA



**ANDROMEDA**

**VIA LATTEA**

**CURVE DI ROTAZIONE PER LA VIA LATTEA E ANDROMEDA I CONTRIBUTI DOVUTI ALLA MATERIA VISIBILE NON RIESCONO A SPIEGARE I DATI A GRANDI DISTANZE DAL BULGE**

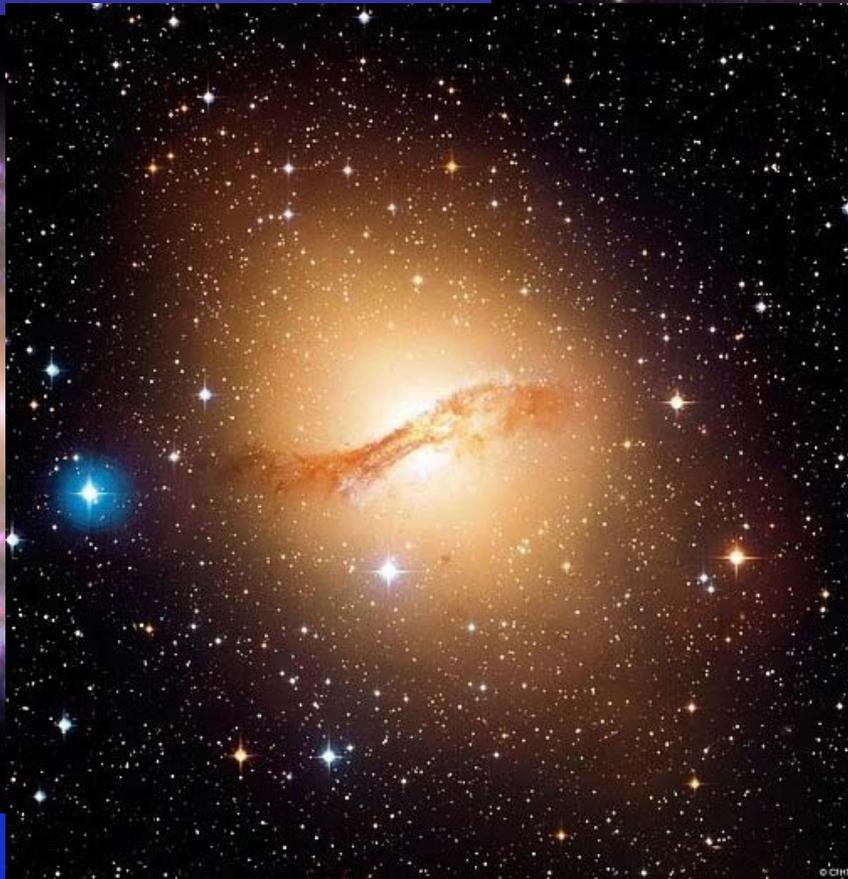


# MATERIA OSCURA OVUNQUE?



**M81 12 Mly UMa**

**Credit: NASA/Spitzer**



**NGC 5128 13 Mly Cen**

**Credit & Copyright: Jean-Charles  
Cuillandre (CFHT) & Giovanni  
Anselmi (Coelum Astronomia),  
Hawaiian Starlight**



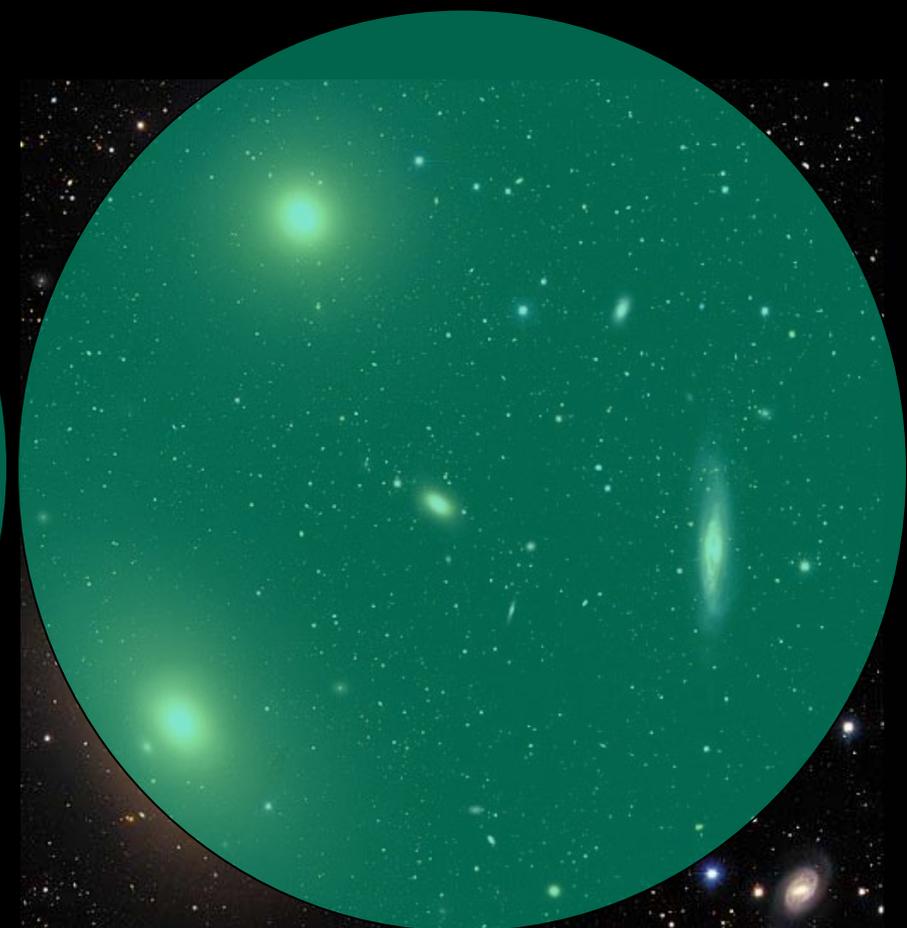
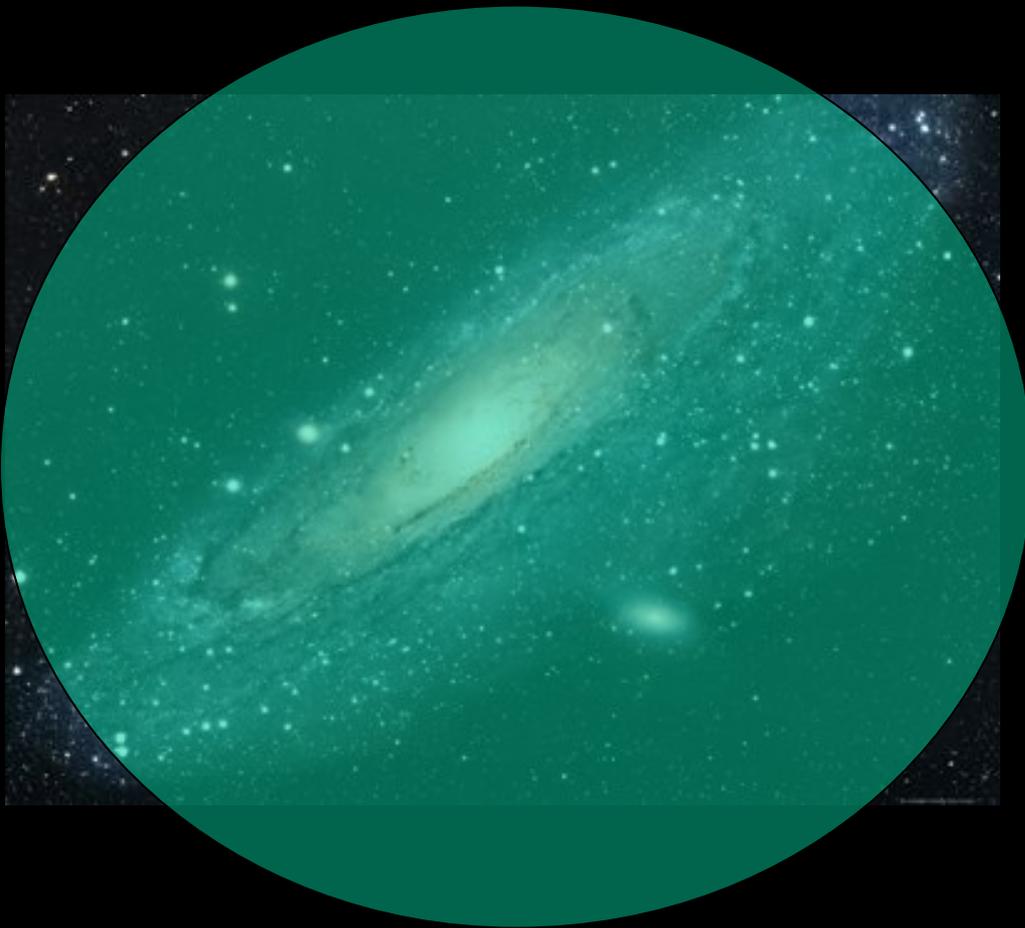
**GC 6946 10 Mly Cep**

**Credit & Copyright: T.  
Rector (U. Alaska  
Anchorage), Gemini  
Obs., AURA**



# NON VEDERE PER CREDERE

SE SI IPOTIZZA LA PRESENZA DI MATERIA NON ANCORA  
OSSERVATA POSSIAMO RIPRODURRE LE CURVE DI ROTAZIONE  
GALATTICHE E SPIEGARE LA STABILITA' DEGLI AMMASSI





# MACHOs E RAMBOs

MACHO = MAssive Compact Halo Object

RAMBO = Robust Association of Massive Baryonic Objects



STELLE DEBOLI  $M \sim 0,1 M_{\odot}$   $L \sim 0,001 L_{\odot}$



NANE BRUNE  $M < 0,1 M_{\odot}$   $L < 0,001 L_{\odot}$



NANE BIANCHE  $M \sim 0,6 M_{\odot}$   $L < 0,001 L_{\odot}$



STELLE DI NEUTRONI  $M \sim 1,4 M_{\odot}$

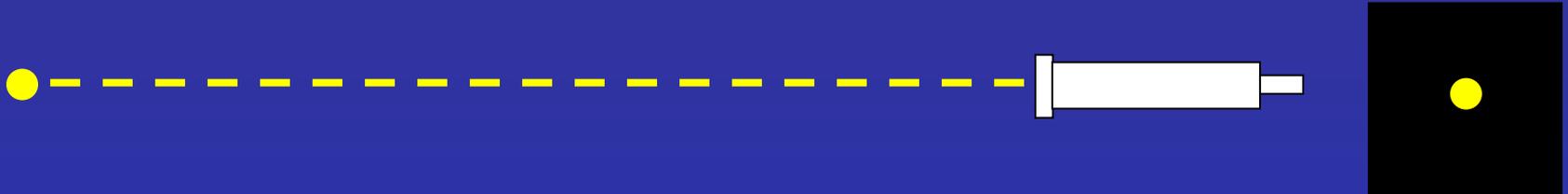


BUCHI NERI  $M > 1,4 M_{\odot}$

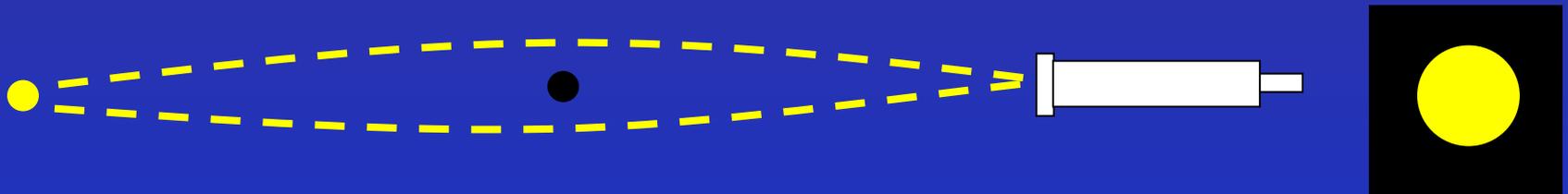
QUANTI SONO I MACHOs?



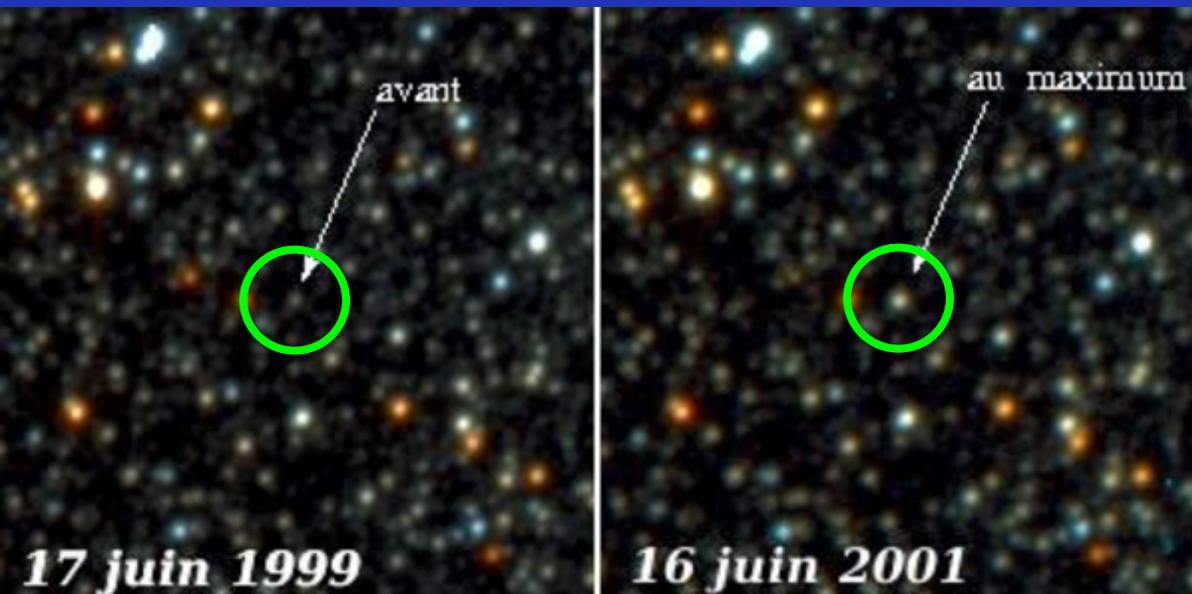
# MICROLENTI



UN MACHO SI FRAPPOE TRA UNA STELLA E L'OSSERVATORE



MICROLENSING

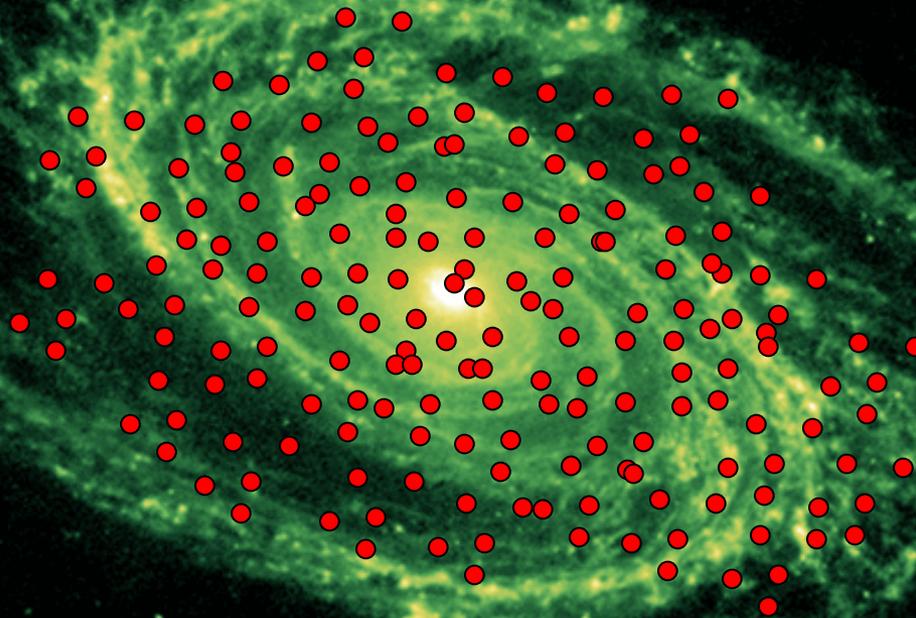


MICROLENSING  
OSSERVATO DAL  
PROGETTO EROS  
Credit: EROS Project



# QUANTI MACHOs?

OSSERVAZIONI MICROLENSING GRAVITAZIONALE  
MACHOs NON SONO ABBASTANZA NUMEROSI 10-20%  
DELLA MASSA DELL'HALO

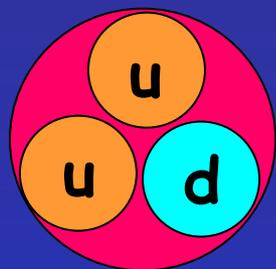


M81 12 Mly UMa Credit: NASA

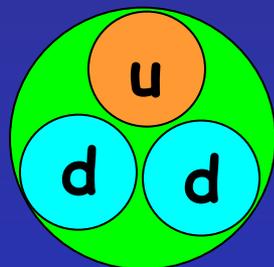


# BARIONI

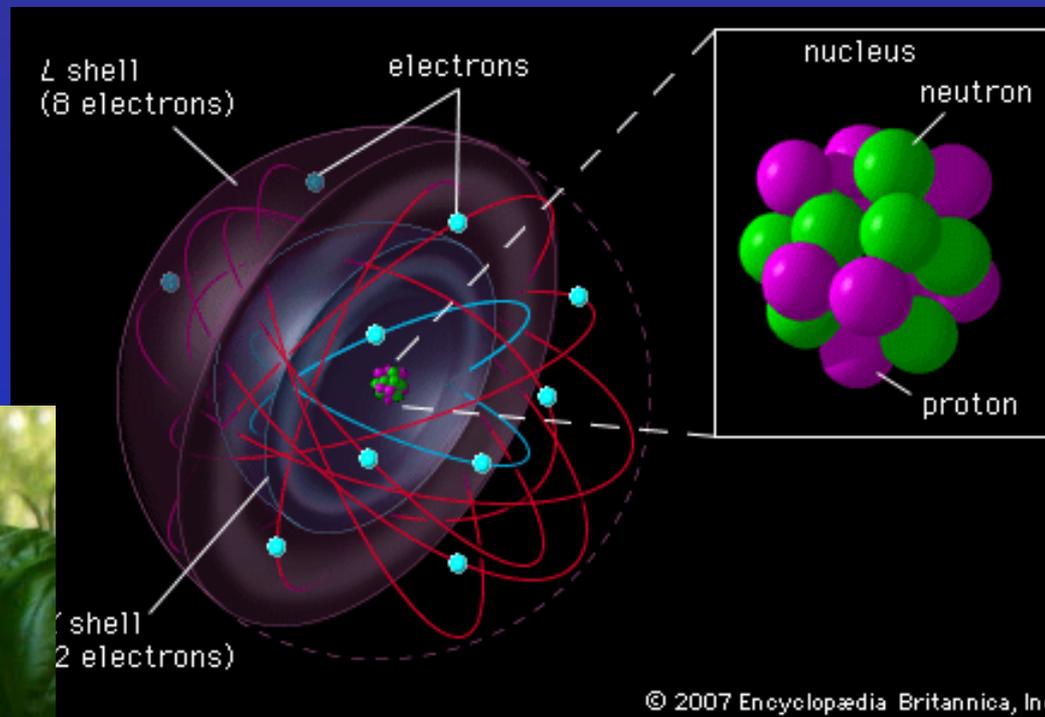
I BARIONI SONO LE PARTICELLE COSTITUITE DA QUARK



PROTONE



NEUTRONE



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.



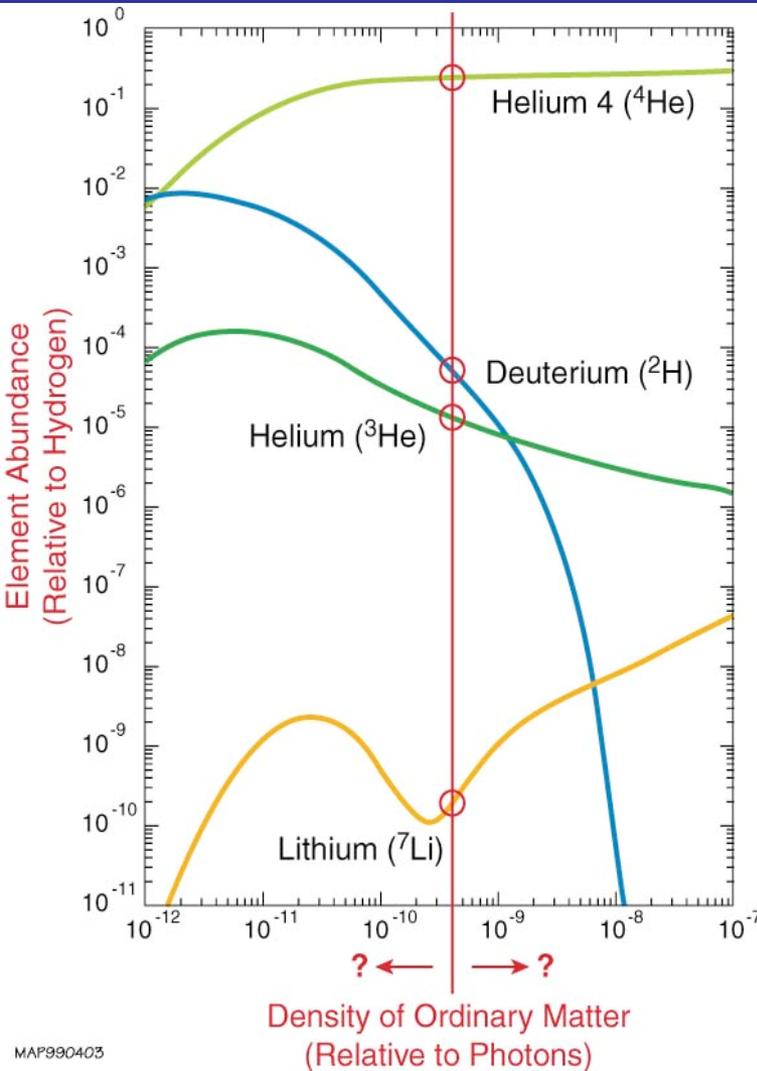
MATERIA BARIONICA

LA MASSA DELLA MATERIA  
ORDINARIA E' COSTITUITA  
PREVALENTEMENTE DA BARIONI

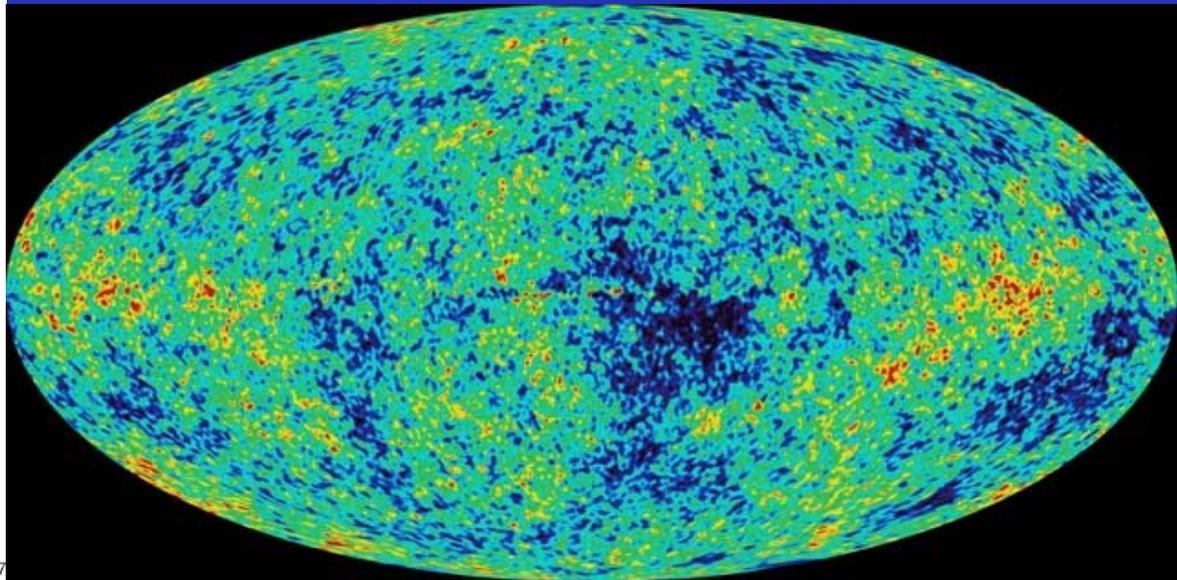


# I BARIONI NON BASTANO

**LA MATERIA OSCURA NON PUO' ESSERE TUTTA BARIONICA**



**UNA DENSITA' TROPPO ALTA PORTA A ABBONDANZE ERRATE PER IL DEUTERIO E NON E' COMPATIBILE CON LE OSSERVAZIONI Credit: NASA**

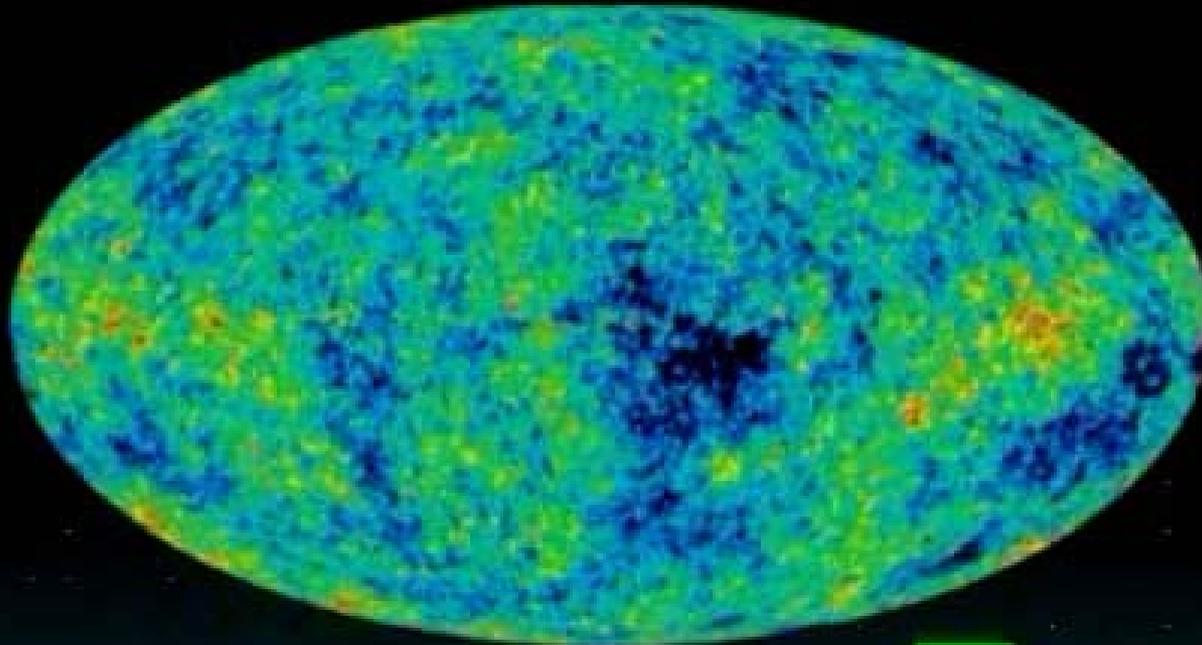


**MAPPA CMB Credit: NASA**



# AGGIUSTARE I PARAMETRI

~85% MATERIA OSCURA E ~15% MATERIA BARIONICA

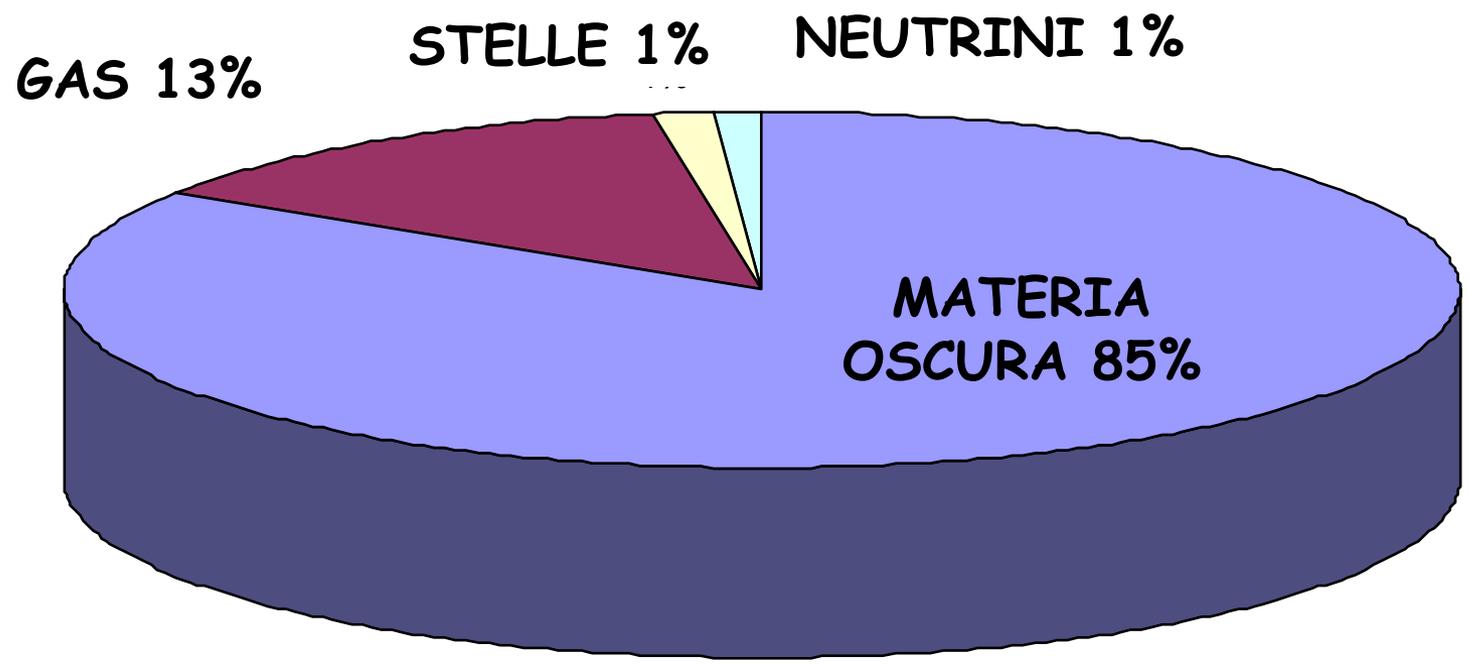


Credit: NASA



# SPARTIRE LA TORTA

## ABBONDANZE RELATIVE





# PIU' O MENO ESOTICA

## MATERIA NON BARIONICA

### PRINCIPALI CANDIDATI

**COLD DM**  
 $V < 0,1c$

**WIMP**

**AXION**

**WARM DM**  
 $0,1c < V < 0,95c$

**NEUTRINO  
STERILE**

**GRAVITINO**

**HOT DM**  
 $V > 0,95c$

**NEUTRINO**

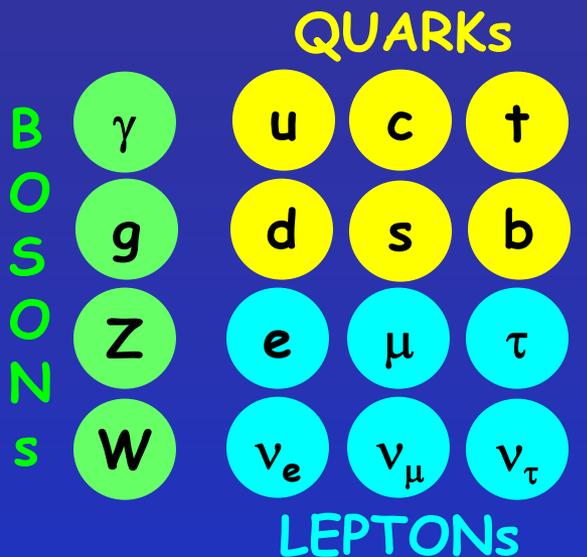
**FOTONE**



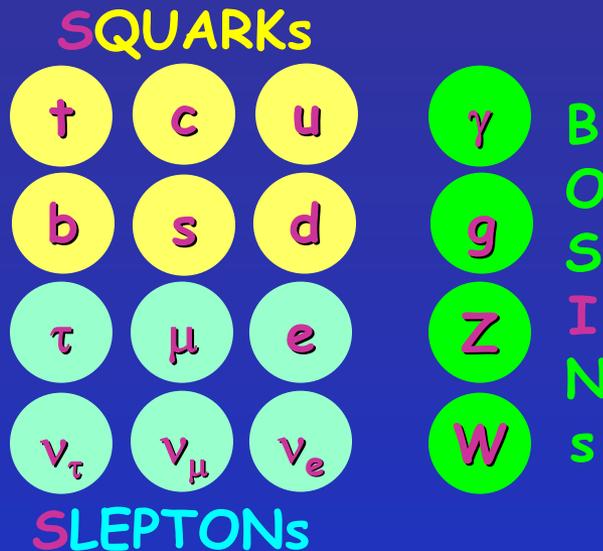
# SUSY

AD OGNI PARTICELLA E' ASSOCIATA UNA SUPERPARTICELLA

PARTICLES  
ANTIPARTICLES



SUSY



SUPERPARTICLES

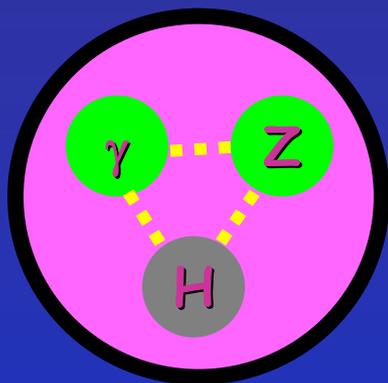
ALCUNI PARTNER SUPERSIMMETRICI





# NEUTRALINO

4 TIPI DI  
NEUTRALINO

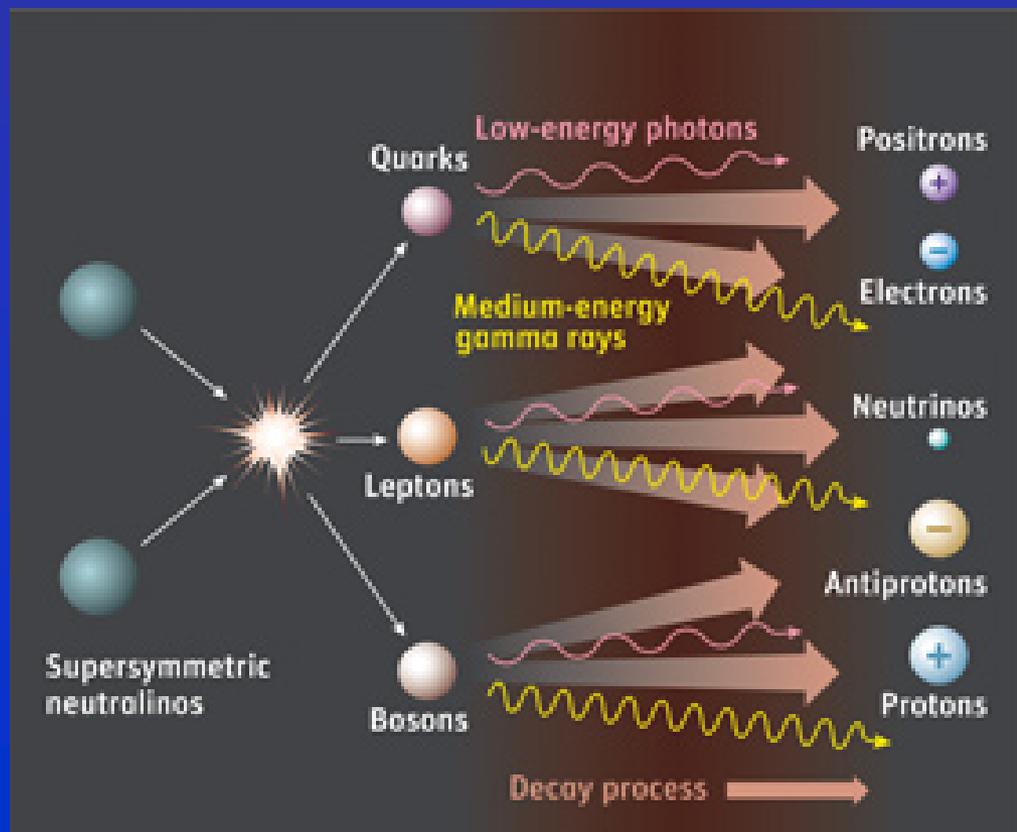


NEUTRALINO  $\chi^0_1$

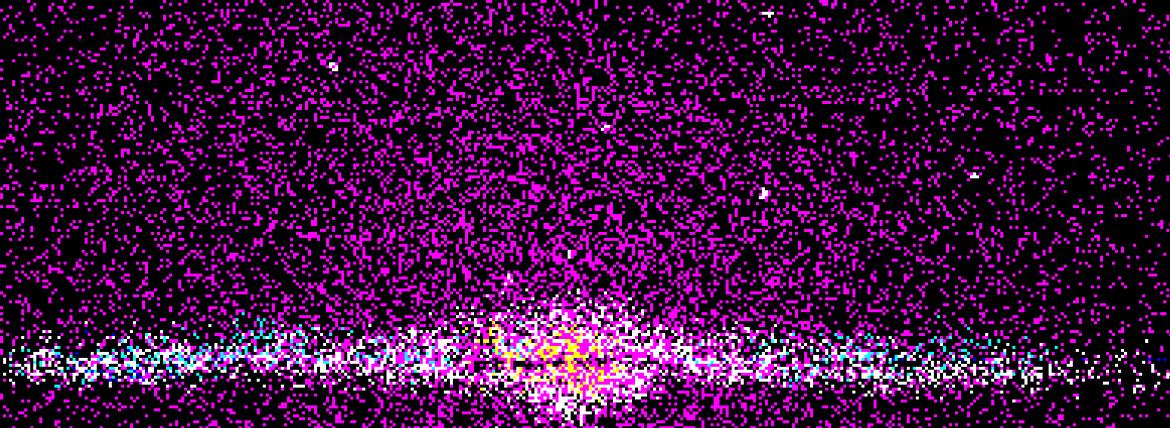
CARICA ELETTRICA E DI  
COLORE NULLE,  
INTERAGISCE SOLO  
GRAVITAZIONALMENTE E  
DEBOLMENTE

MASSA  $10-10^4$  GeV

SCHEMA DI POSSIBILI  
DECADIMENTI DEL  
NEUTRALINO



# SIMULAZIONE DISTRIBUZIONE DI WIMPS NELLA GALASSIA



 distribution of  
WIMPS

Credit: Oregon University

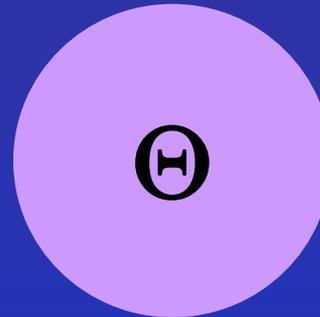


# ASSIONI

L'ASSIONE E' STATO INTRODOTTO NEL 1977 PER RISOLVERE IL PROBLEMA DELLA STRONG CP SYMMETRY



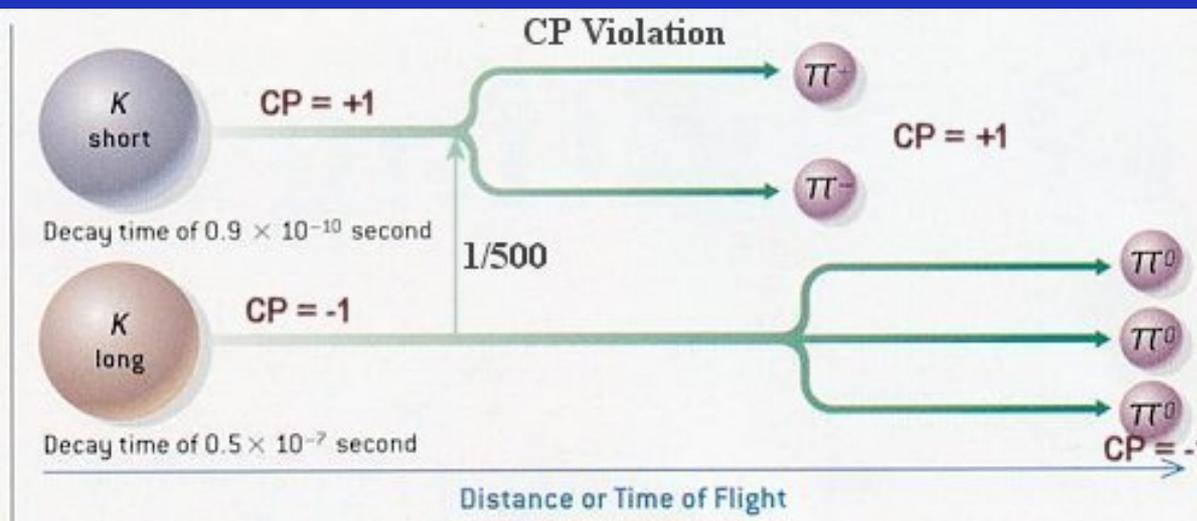
R. PECCEI E H. QUINN



## ASSIONE

CARICA ELETTRICA  
E DI COLORE  
NULLE,  
INTERAGISCE  
SOLO  
GRAVITAZIONALM  
ENTE E  
ELETTROMAGNETIC  
AMENTE

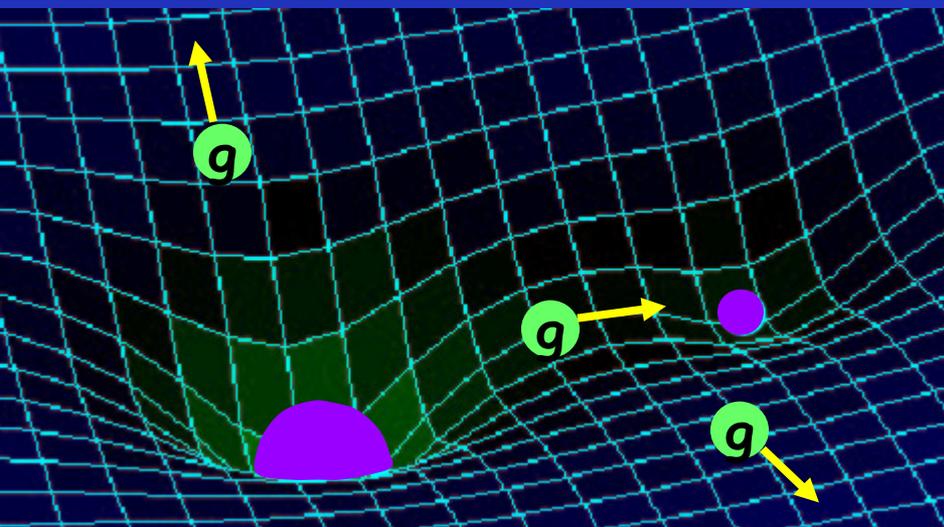
MASSA  $10^{-6} - 1$  eV



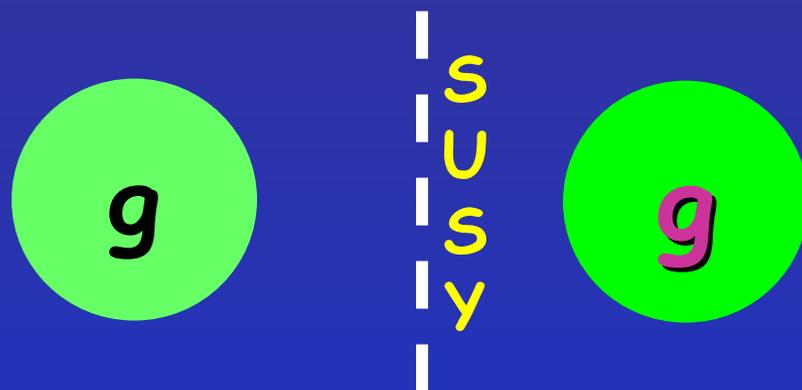


# GRAVITINO

LE MASSE  
INTERAGISCONO  
ATTRAVERSO LA  
DEFORMAZIONE DELLO  
SPAZIO-TEMPO  
SCAMBIANDOSI  
GRAVITONI



GRAVITINO PARTNER  
SUSY DEL GRAVITONE



GRAVITONE E GRAVITINO

CARICA ELETTRICA E DI  
COLORE NULLE,  
INTERAGISCE SOLO  
GRAVITAZIONALMENTE E  
DEBOLMENTE

MASSA  $\sim 10^3$  GeV

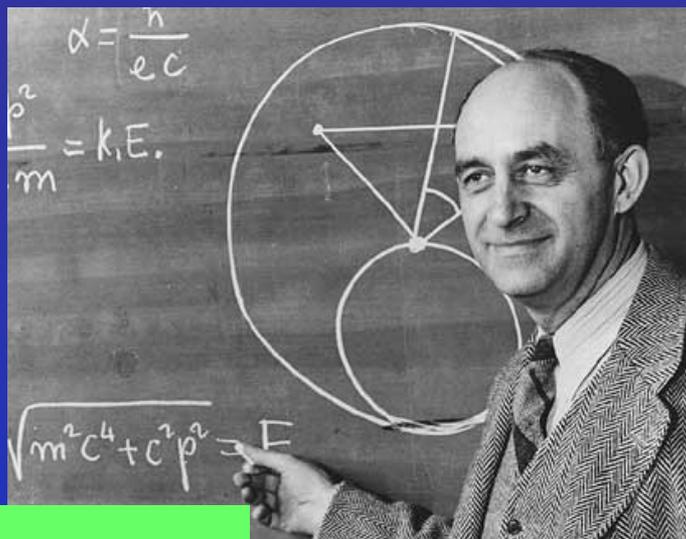


# NEUTRINO

IPOTIZZATO NEL 1930 DA PAULI E RILEVATO NEL 1956



W, PAULI



E. FERMI

TEORIA DEL  
DECADIMENTO  
BETA

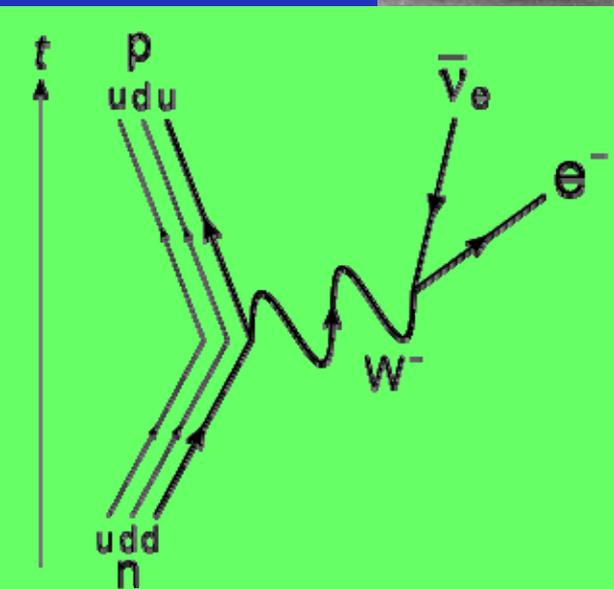
TRE TIPI DI NEUTRINO



CARICA ELETTRICA E  
DI COLORE NULLE,  
INTERAGISCE SOLO  
GRAVITAZIONALMEN  
TE E DEBOLMENTE

MASSA  $\sim 10^{-2}$  eV

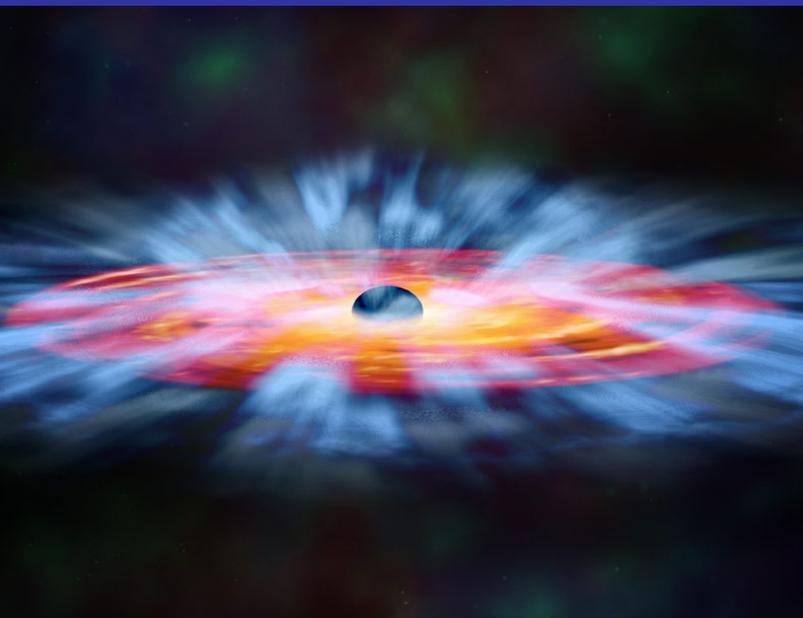
I NEUTRINI NON SEMBRANO  
ABBASTANZA





## PIU' OSCURA DI COSI'

NELLE FASI IMMEDIATAMENTE SUCCESSIVE AL BIG-BANG E' POSSIBILE LA FORMAZIONE DI **MINI BUCHI NERI**



**RADIAZIONE HAWKING**

$$R_S = \frac{2G_0 M}{c^2}$$

**RAGGIO DI SCHWARZSCHILD**

**PER IL SOLE  
~3 km**

$$t_{EV} \propto \frac{G_0^2 M^3}{hc^4}$$

**TEMPO DI EVAPORAZIONE**

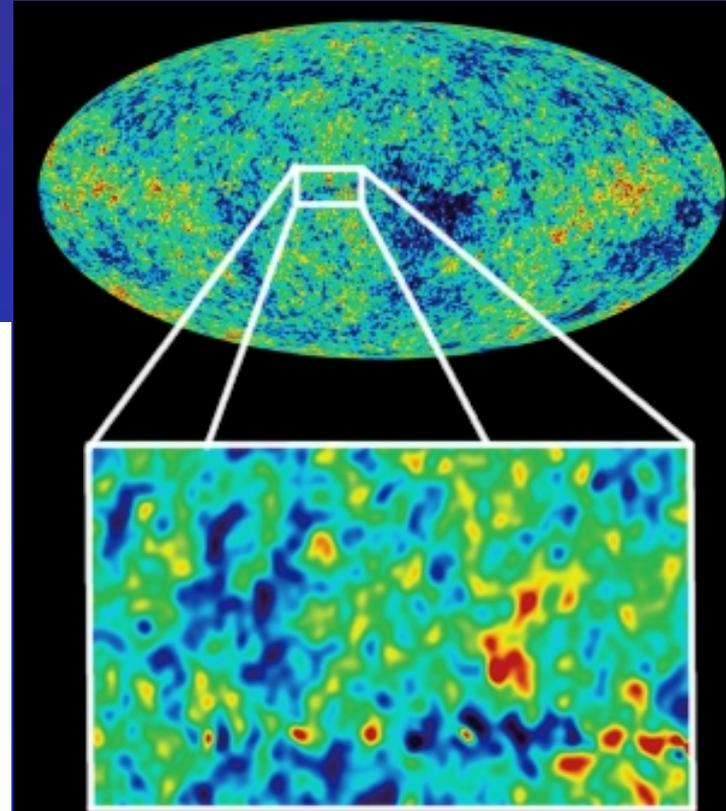
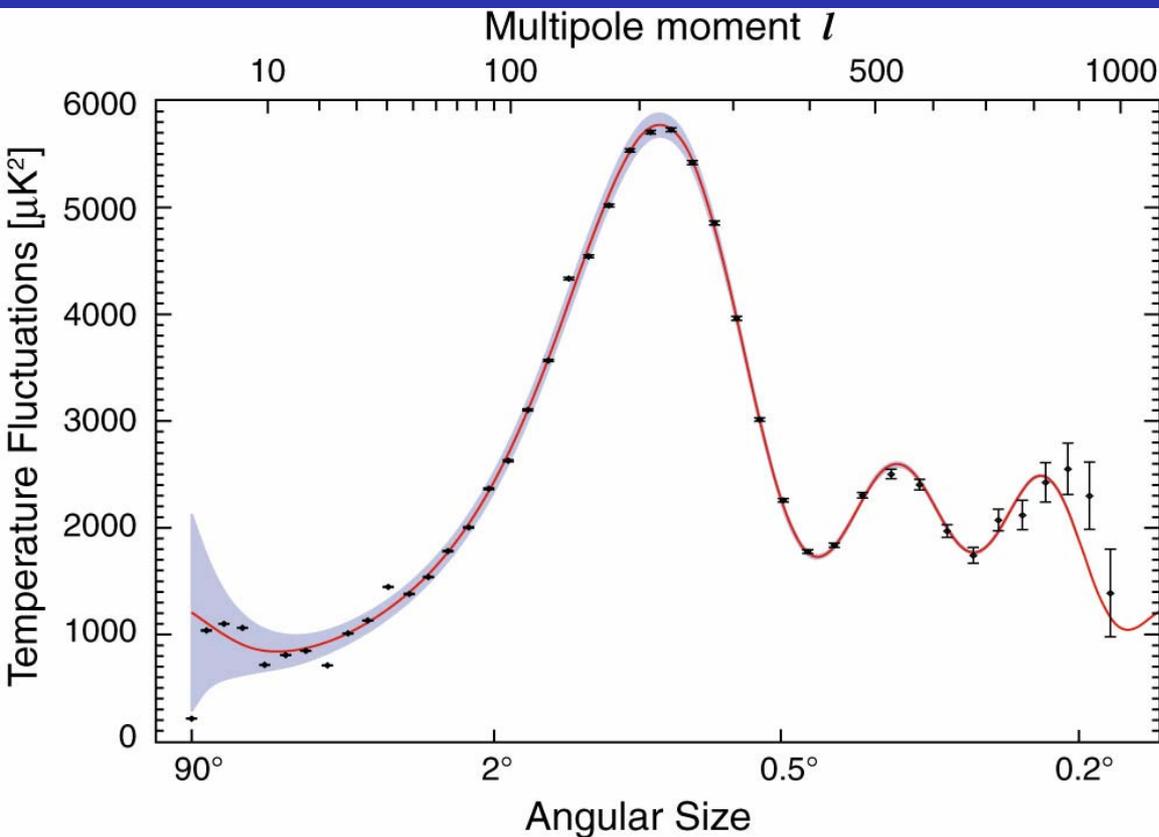
**PER IL SOLE  
~10<sup>67</sup> anni**

- BH DI MASSA ~ 10<sup>12</sup> kg DOVREBBERO EVAPORARE "ORA"
- I GRB NON SEMBRANO ESSERE COMPATIBILI CON PBHs
- DIMENSIONI SPAZIOTEMPORALI EXTRA?



# FLUTTUAZIONI

**LO SPETTRO DELLE FLUTTUAZIONI TERMICHE CMB COMPATIBILE CON UN MODELLO DOMINATO DA CDM**  
Credit: NASA-WMAP



**FLUTTUAZIONI DELLA RADIAZIONE DI FONDO COSMICA**  
Credit: NASA-WMAP



# RICERCHE

## WIMP Searches

- ❖ *CRESST at The Gran Sasso Laboratory*
- ❖ *CUORE at The Gran Sasso Laboratory*
- ❖ *DAMA at The Gran Sasso Laboratory*
- ❖ *EDELWEISS au Laboratoire Souterrain de Modane*
- ❖ *GENIUS at The Gran Sasso Laboratory*
- ❖ *HDMS at The Gran Sasso Laboratory*
- ❖ *MACHe3 at the ISN*
- ❖ *PICASSO at the U. of Montreal*
- ❖ *UK Dark Matter Collaboration at the Boulby Mine*

## Axion Searches

- ❖ *CAST at CERN*
- ❖ *The Large Scale US Axion Search at Lawrence Livermore National Laboratory*
- ❖ *The PVLAS Experiment at INFN*

## Gravitational Lensing Experiments

- ❖ *The Dark Matter Telescope*
- ❖ *The MACHO Project at Mount Stromlo Observatory, Canberra, Australia*
- ❖ *POINT-AGAPE using the Isaac Newton Telescope*
- ❖ *PLANET at Hobart, Perth, La Silla Dutch & Sutherland*



# MODIFICARE NEWTON...

1981 **MOND** = **MODIFIED NEWTONIAN DYNAMICS**



**M. MILGROM**

$$G_0 \frac{M}{r^2} = a_N$$

PER  $a \gg a_0$  NEWTON

$$a_0 \sim 10^{-10} \text{ m/s}^2 \sim c/T_{\text{UN}}$$

$$G_0 \frac{M}{r^2} = \frac{a^2}{a_0}$$

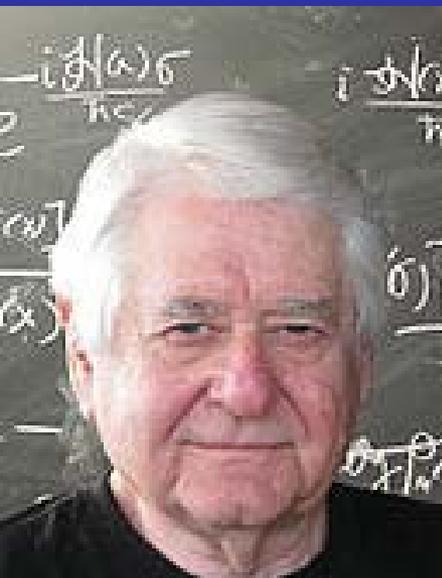
PER  $a \ll a_0$  MILGROM

- RIPRODUCE LE CURVE PIATTE DI ROTAZIONE DELLE GALASSIE
- PROBLEMI CON CASI COME BULLET CLUSTER
- OCCORRE UNA ESTENSIONE RELATIVISTICA (FORSE TeVeS)



# ...E PURE EINSTEIN!

1979 NGT = NON-SYMMETRICAL GRAVITATIONAL THEORY



J. MOFFAT

TENSORE METRICO

$$g_{(\mu\nu)} + g_{[\mu\nu]}$$

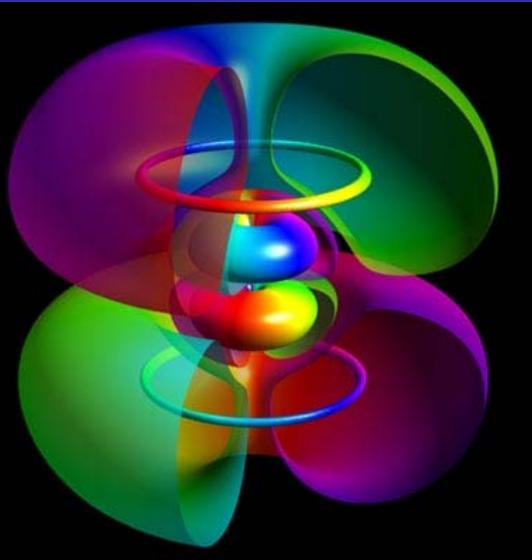
PARTE  
SIMMETRICA

PARTE  
ANTISIMMETRICA

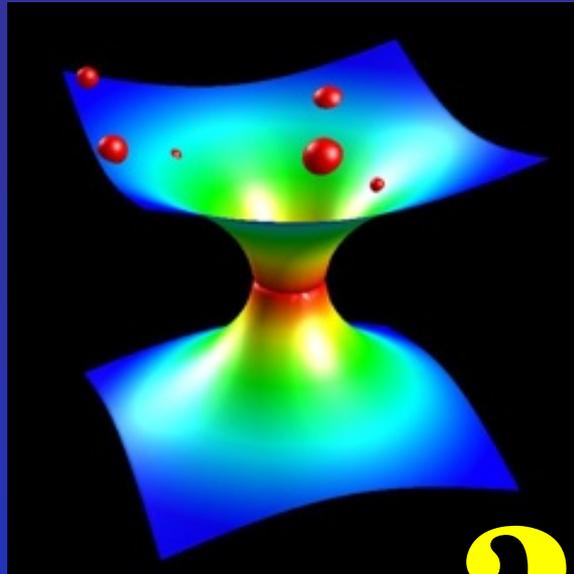
- RIPRODUCE LE CURVE PIATTE DI ROTAZIONE DELLE GALASSIE
- RIPRODUCE I PROFILI DI MASSA DEGLI AMMASSI DI GALASSIE
- ESISTONO ALTRE PROPOSTE DI MOFFAT (FORSE TeVeS)



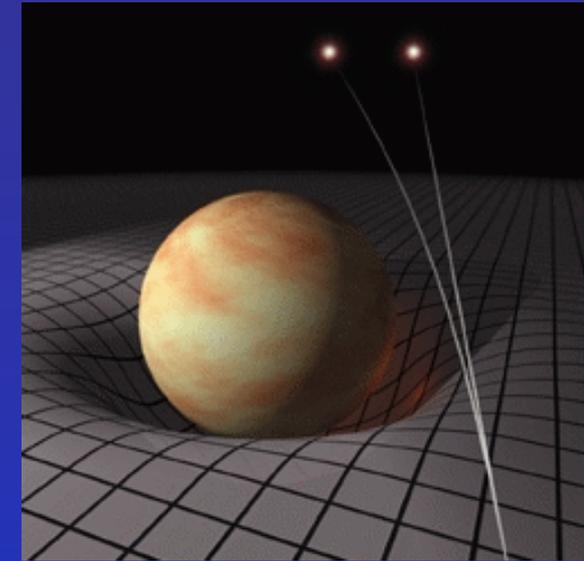
# QUANTUM GRAVITY



**MACCANICA  
QUANTISTICA**



**QUANTUM  
GRAVITY**



**RELATIVITA'  
GENERALE**

- M-THEORY FORZE DA DIMENSIONI EXTRA
- LOOP-GRAVITY TENSIONE DAI LOOP SPAZIOTEMPORALI
- VARIAZIONE DI SCALA DI  $G_0$



# NELLA FORESTA

Hubble looks for missing matter

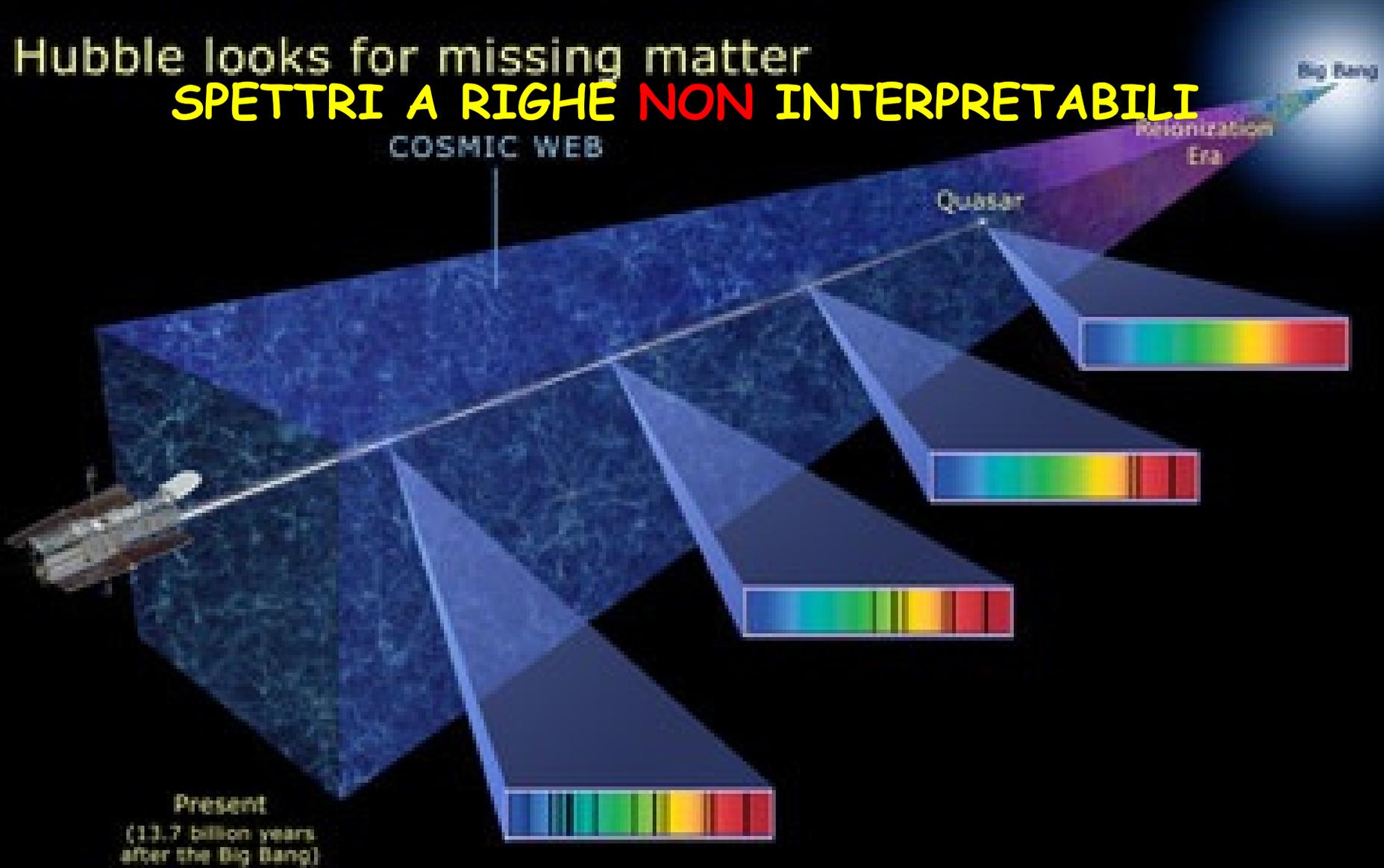
**SPETTRI A RIGHE NON INTERPRETABILI**

COSMIC WEB

Quasar

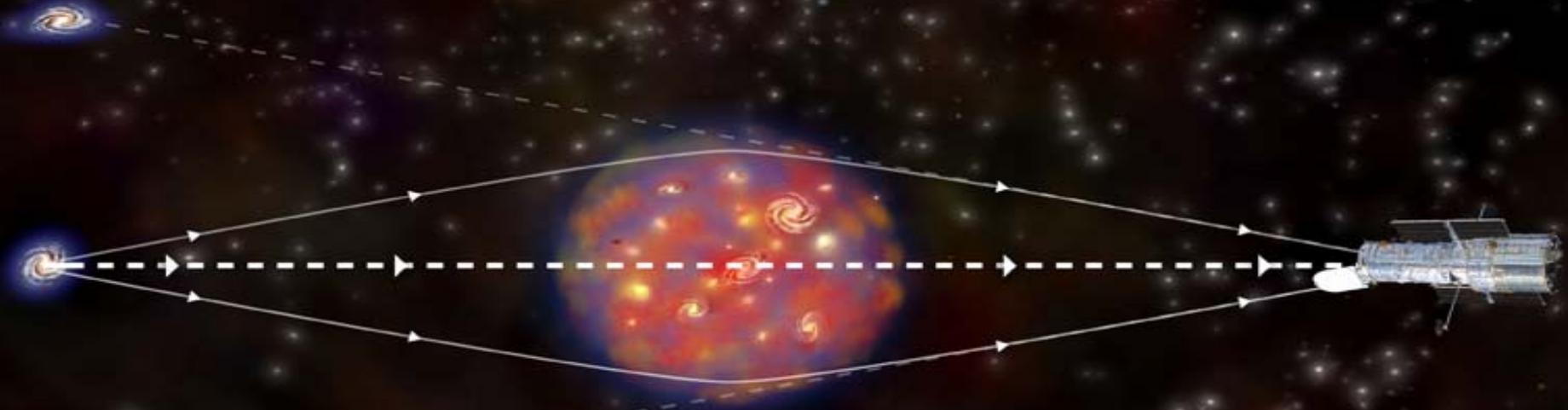
Reionization  
Era

Big Bang



Present  
(13.7 billion years  
after the Big Bang)

# LENTI COSMICHE

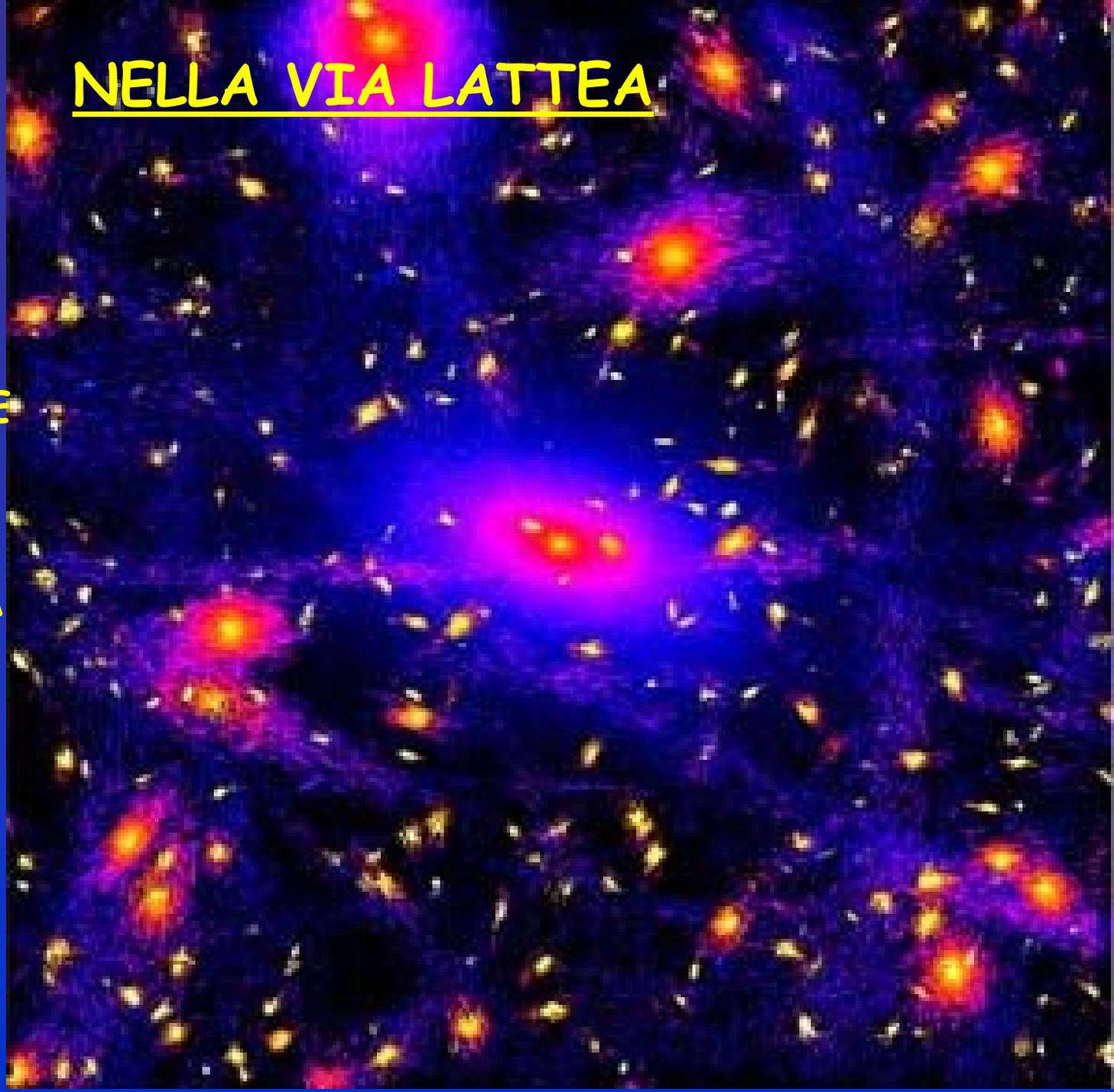


**LENTE GRAVITAZIONALE PRODOTTA DA UN AMMASSO  
DI GALASSIE Credit: NASA**



# NELLA VIA LATTEA

SIMULAZIONE  
DELLA  
DISTRIBUZIONE  
DI **MATERIA**  
**OSCURA** NELLE  
REGIONI  
INTERNE DELLA  
VIA LATTEA  
(Credit: M.  
Zemp)





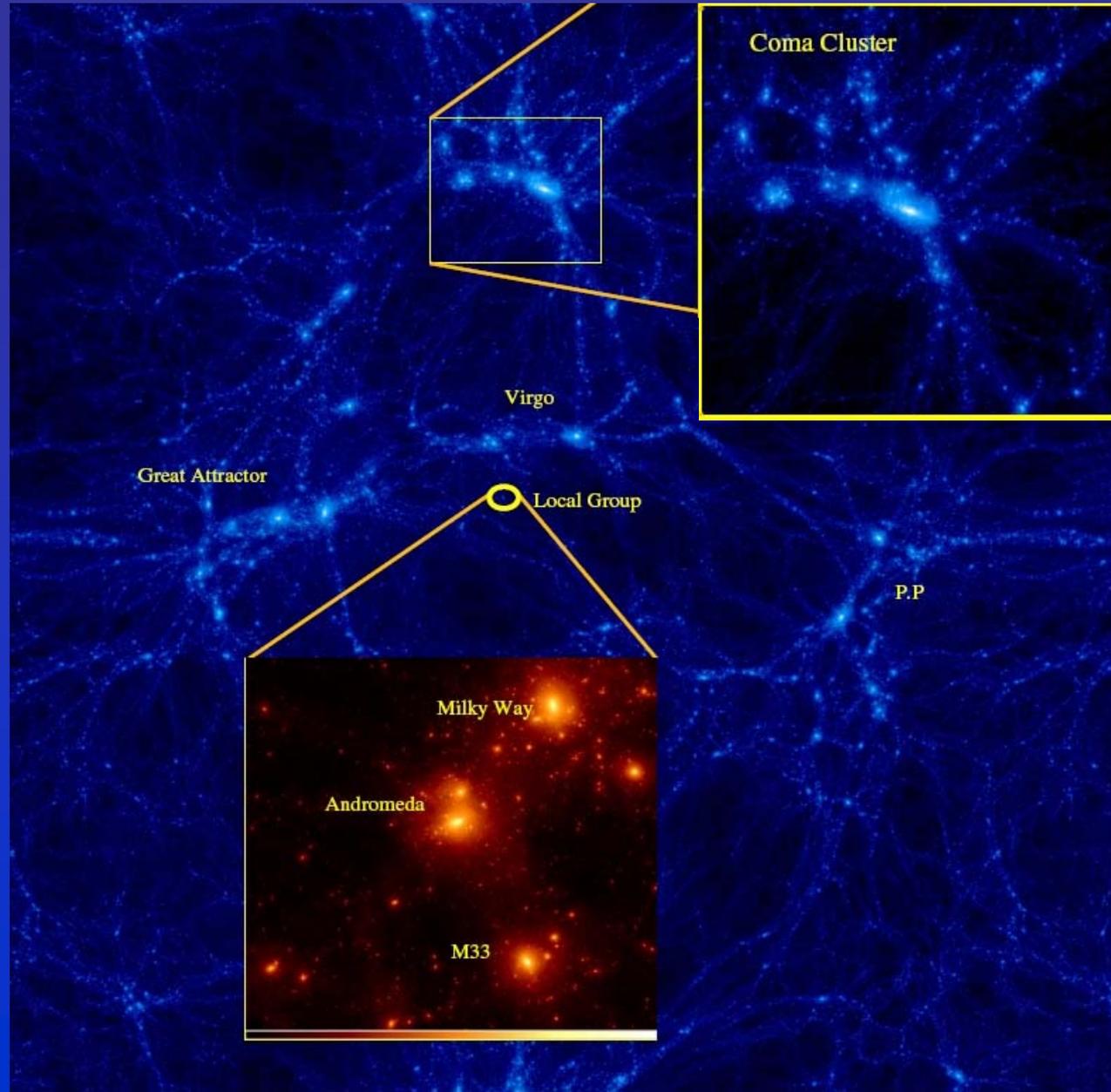
# GALASSIA

SIMULAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DI **MATERIA OSCURA** IN  
UNA GALASSIA. Credit: Stelios Kazantzidis, Ohio State University



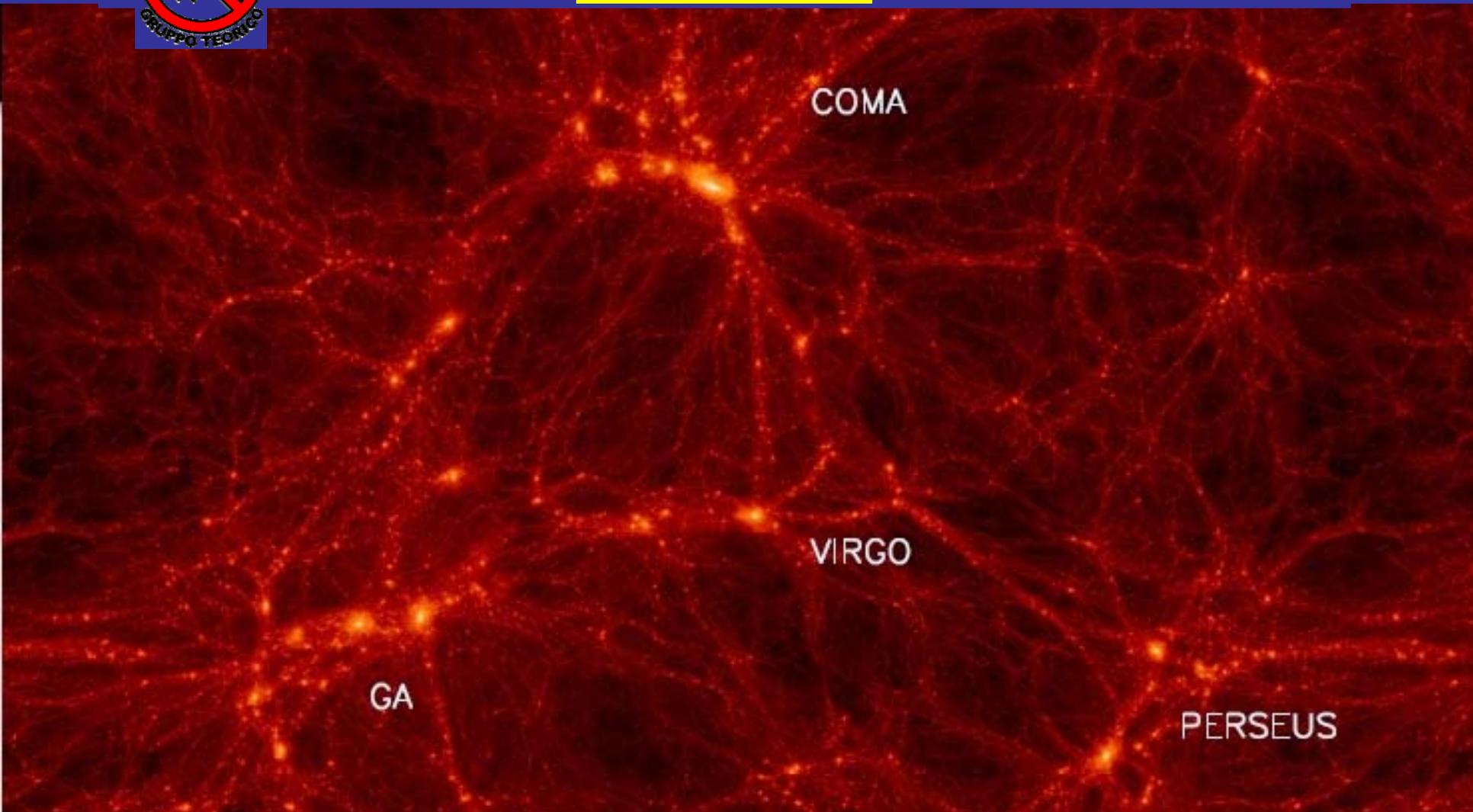
# INTORNO A NOI

**SIMULAZIONE  
DELLA  
DISTRIBUZIONE DI  
MATERIA OSCURA  
IN UNA REGIONE  
DI 160 Mpc/h DI  
LATO INTORNO AL  
GRUPPO LOCALE  
(Credit: S.  
Gottlöber, G.  
Yepes, A. Klypin,  
A. Khalatyan )**





# AMMASSI

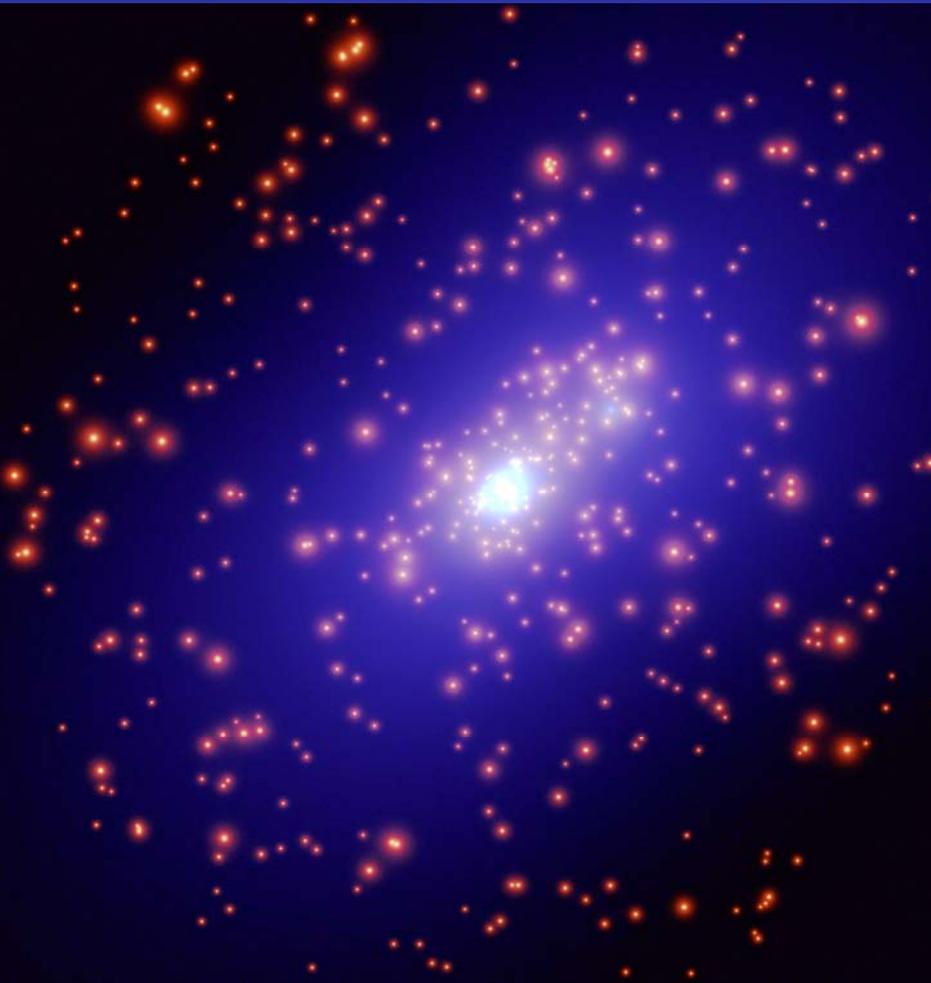


**SIMULAZIONE SU LARGA SCALA DELLA MATERIA OSCURA IN UN BOX DI CIRCA 180 MPc/h (Credit: S. Gottlöber, G. Yepes, A. Klypin, A. Khalatyan )**



# AMMASSI

AMMASSO DI GALASSIE  
Cl0024+1654 Credit: NASA-ESA

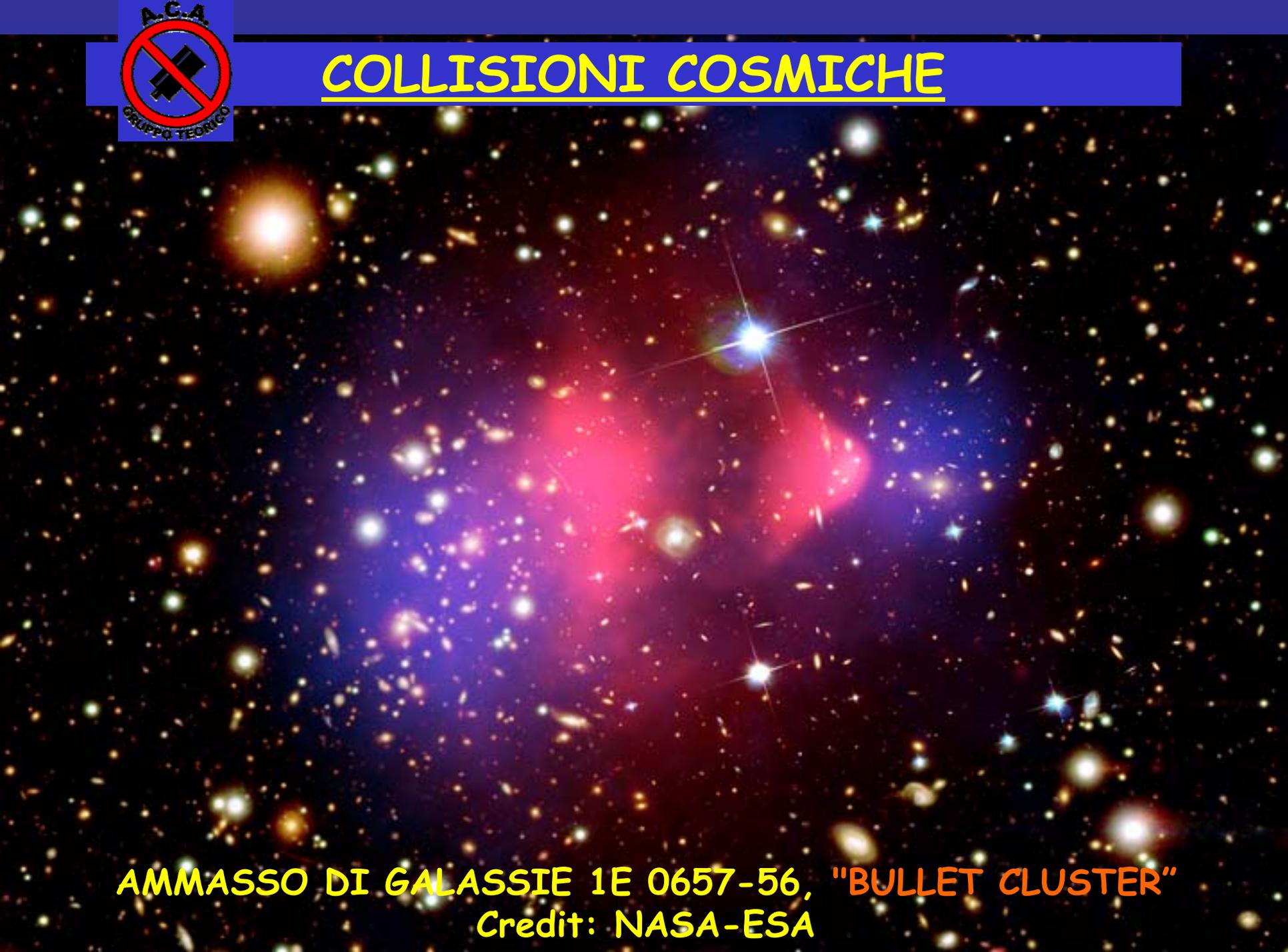


AMMASSO DI GALASSIE  
ZwCl0024+1652 Credit: NASA





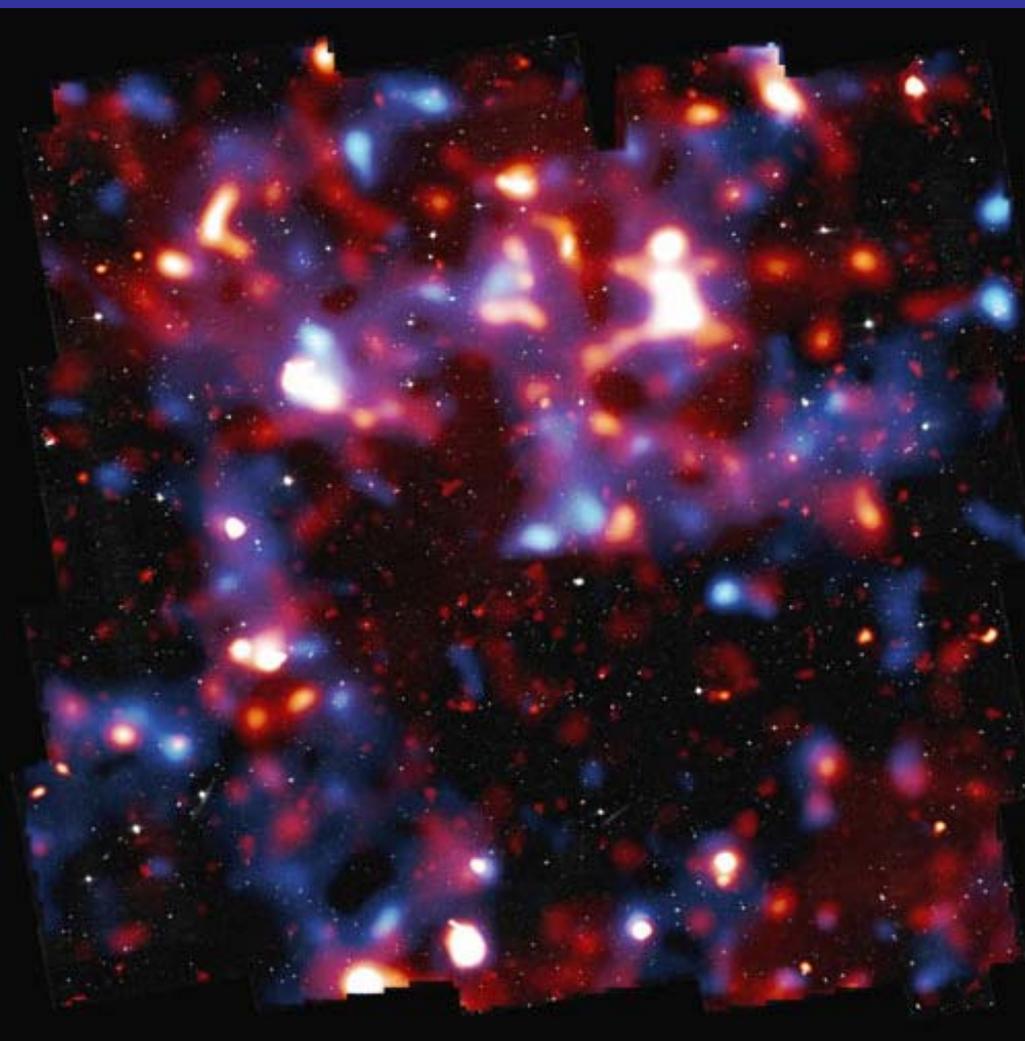
# COLLISIONI COSMICHE



AMMASSO DI GALASSIE 1E 0657-56, "BULLET CLUSTER"  
Credit: NASA-ESA

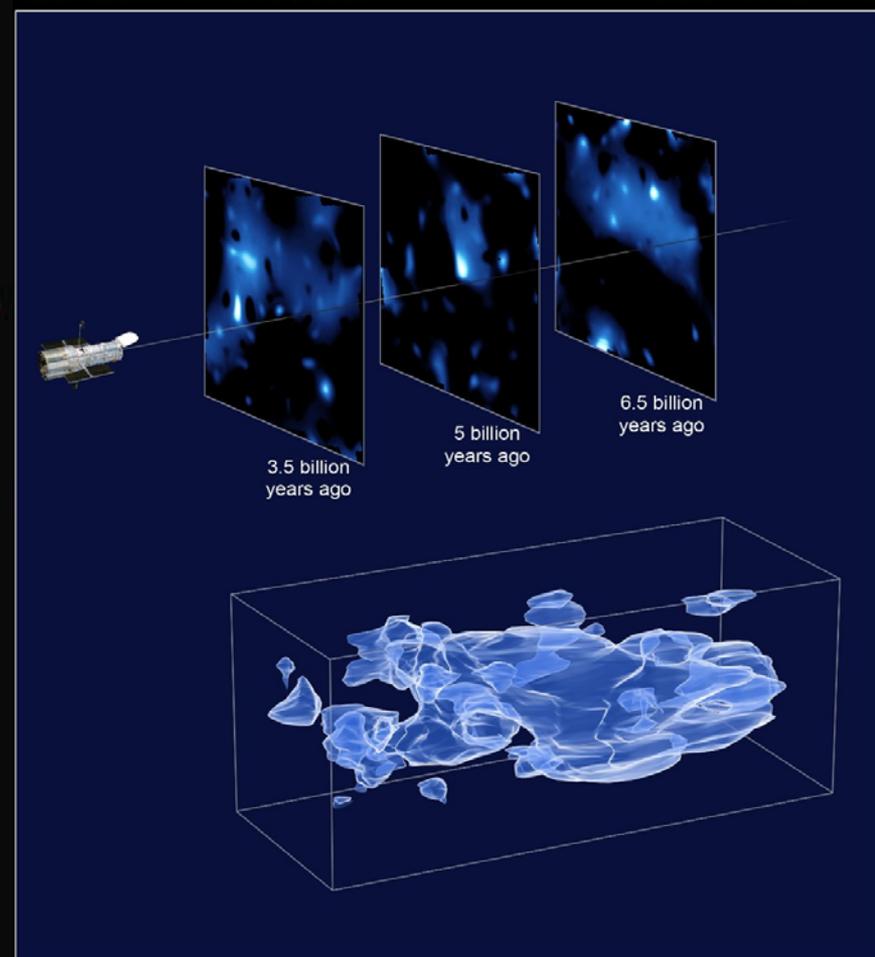


# VEDERE L'INVISIBILE



Distribution of Dark Matter

HST ■ ACS/WFC



NASA, ESA, and R. Massey (California Institute of Technology)

STScI-PRC07-01a

**GAS (in rosso), MATERIA OSCURA (in blu) E STELLE E GALASSIE (in grigio) Credit: ESA-NASA**



# LA TRAMA COSMICA

Credit: V. Springel et al./Millennium Simulation (BOTH)

The background of the slide is a reproduction of the painting 'The Starry Night' by the Dutch Impressionist painter J.M.W. Turner. The painting depicts a night scene with a turbulent, swirling sky filled with bright, glowing stars and a large, luminous crescent moon. In the foreground, a dark, jagged cypress tree stands on the left, and a small village with a church spire is visible in the distance. The overall mood is one of awe and wonder.

***GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE!!!***

***DOMANDE?***