

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

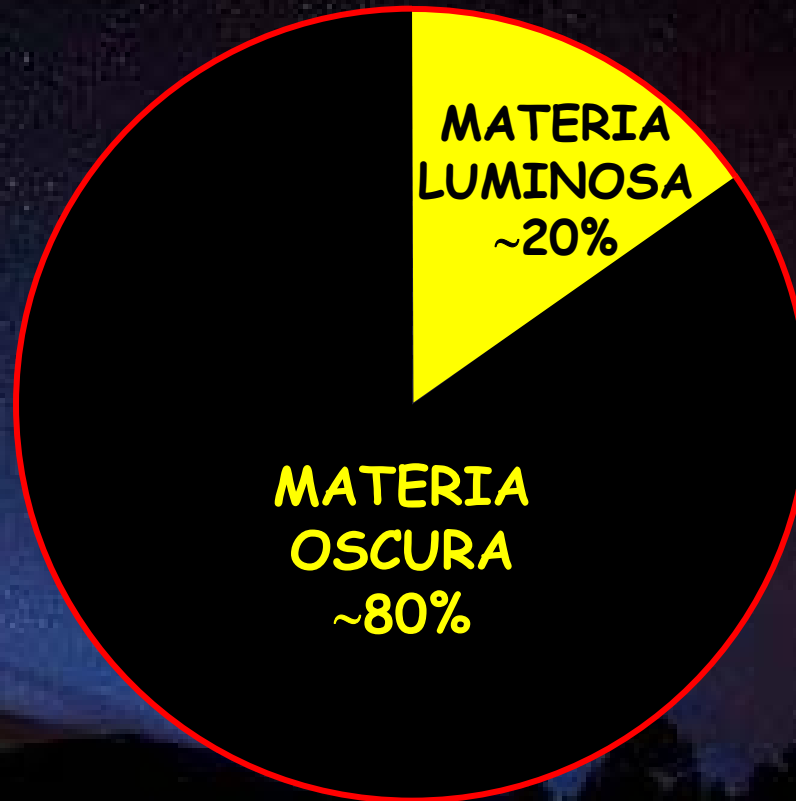
LA MATERIA OSCURA

- 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



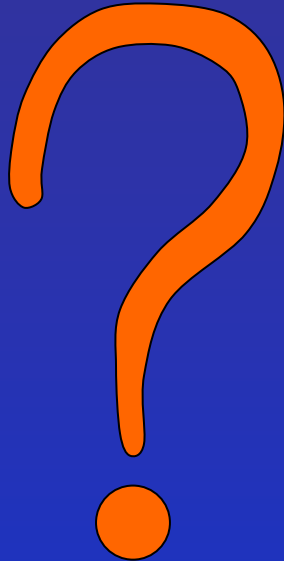


QUALCOSA MANCA

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"





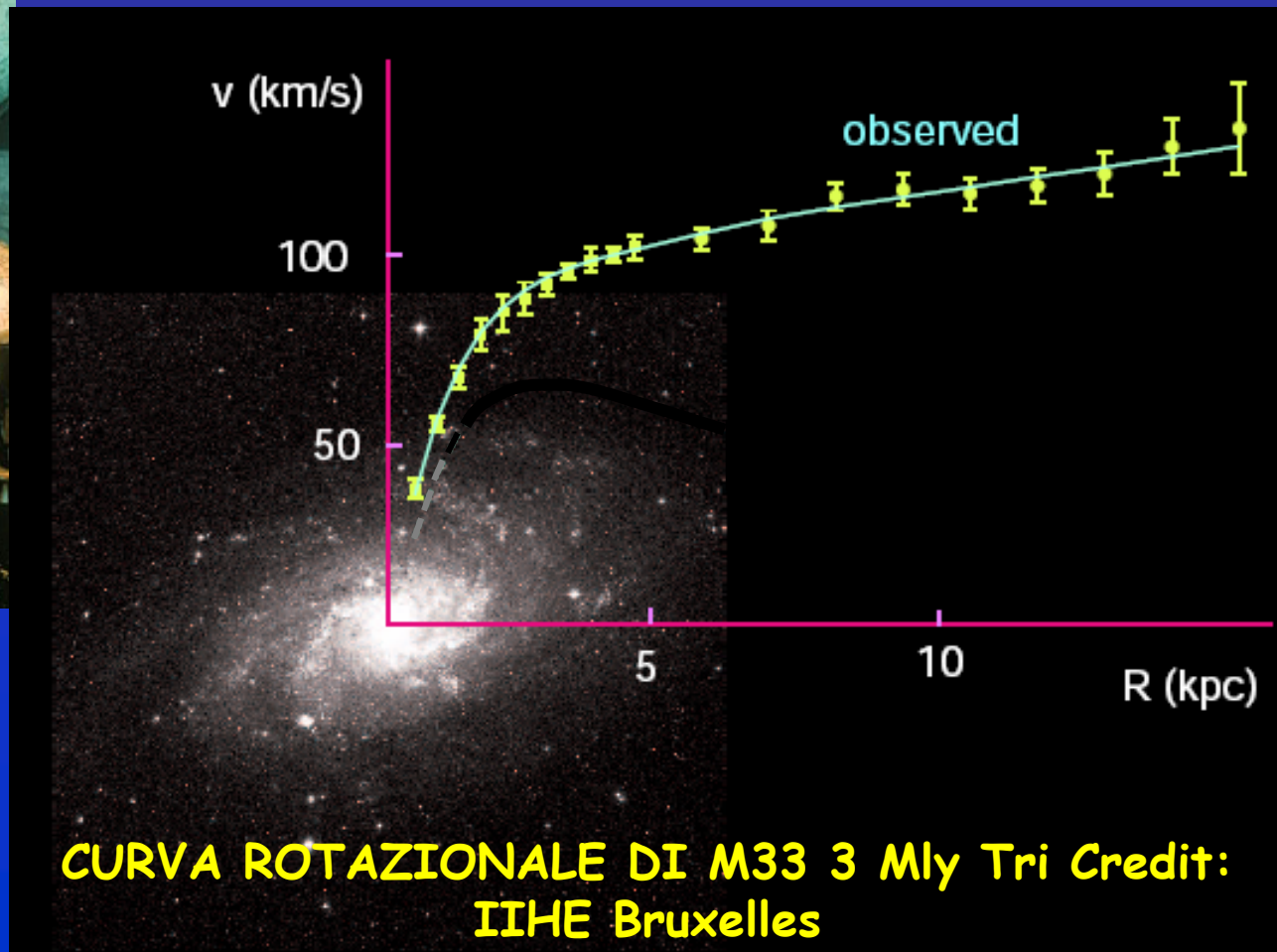
VERA & LOUISE

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



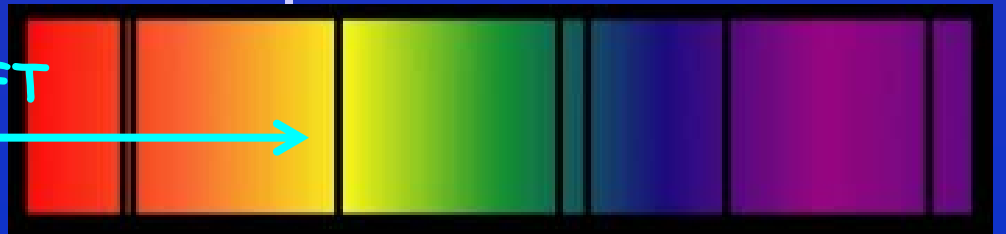
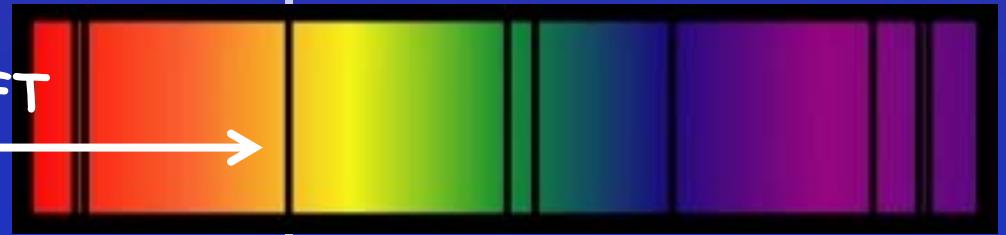
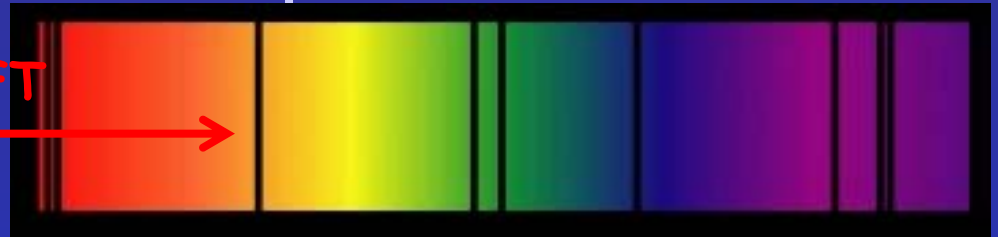
REDSHIFT



NO SHIFT

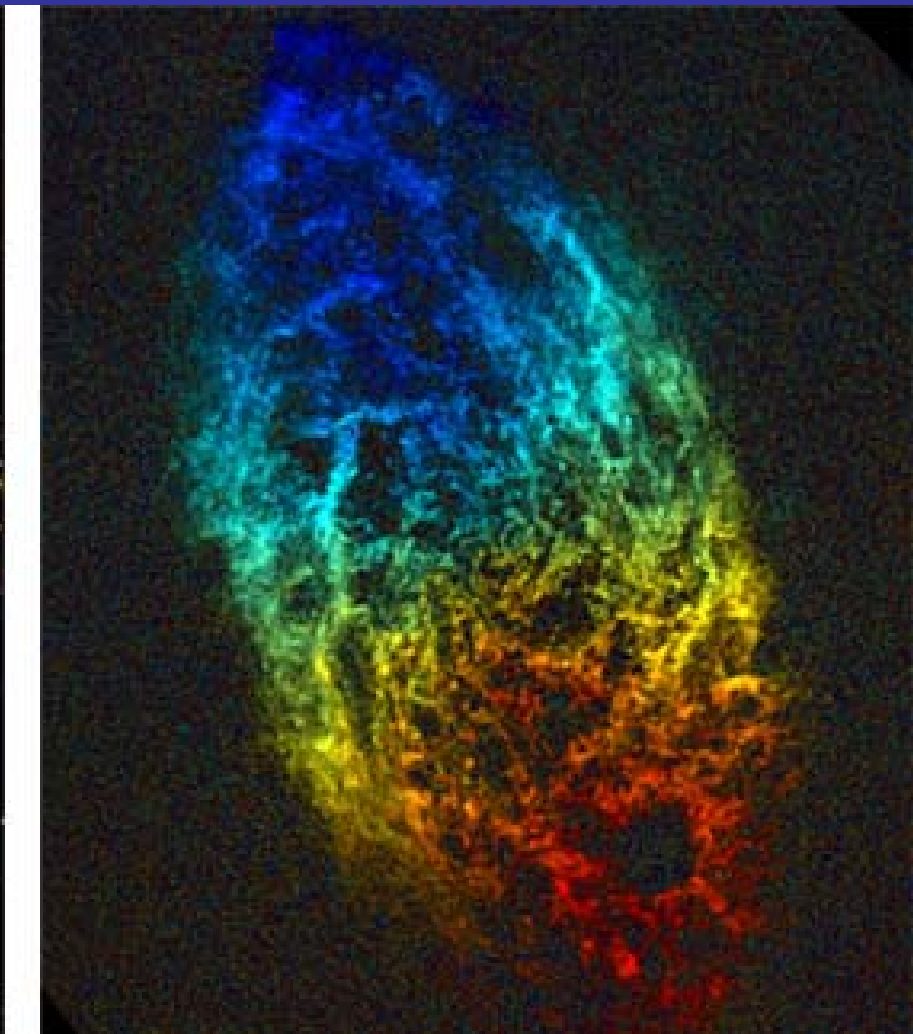


BLUESHIFT



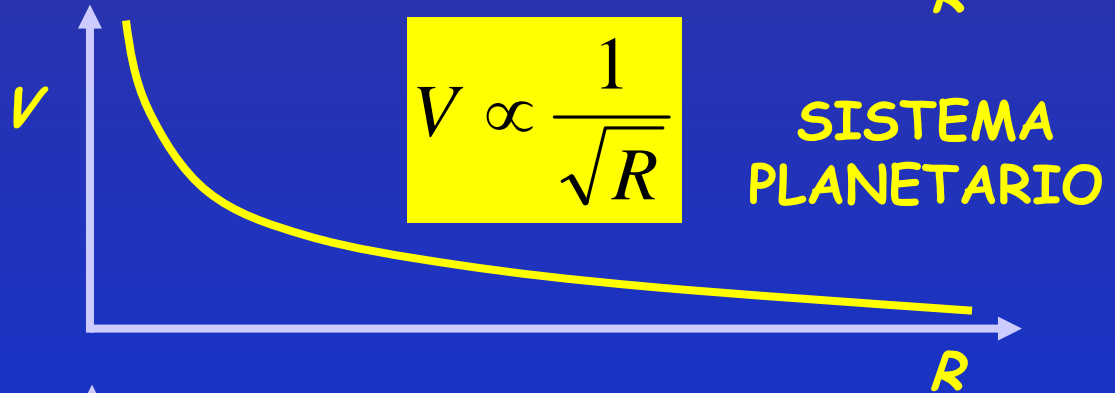
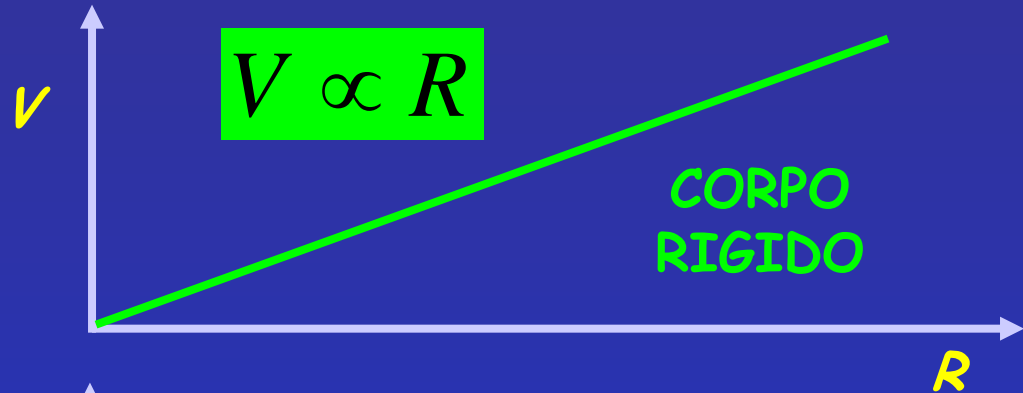
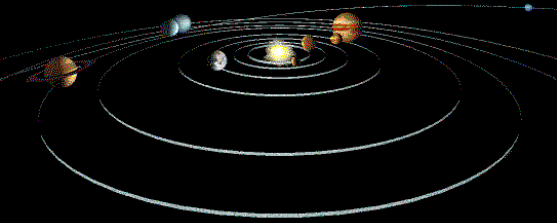
M81 12 Mly Uma
Credit: NASA

"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**

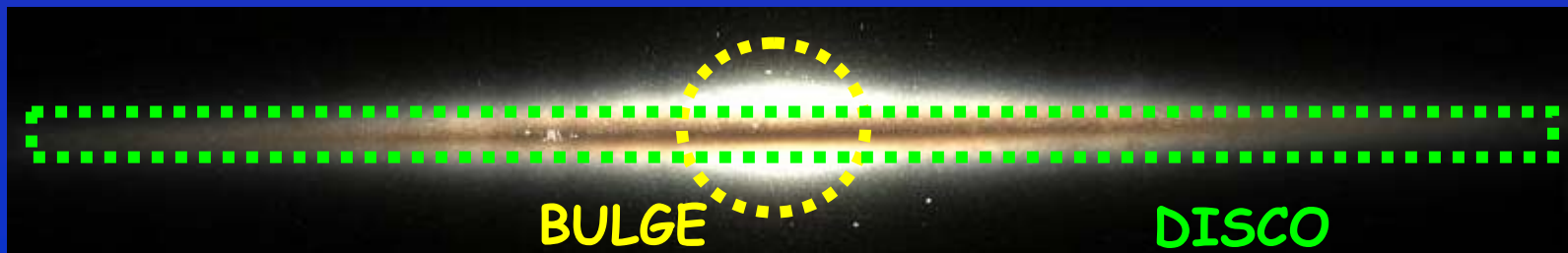
GIROTONDO COSMICO



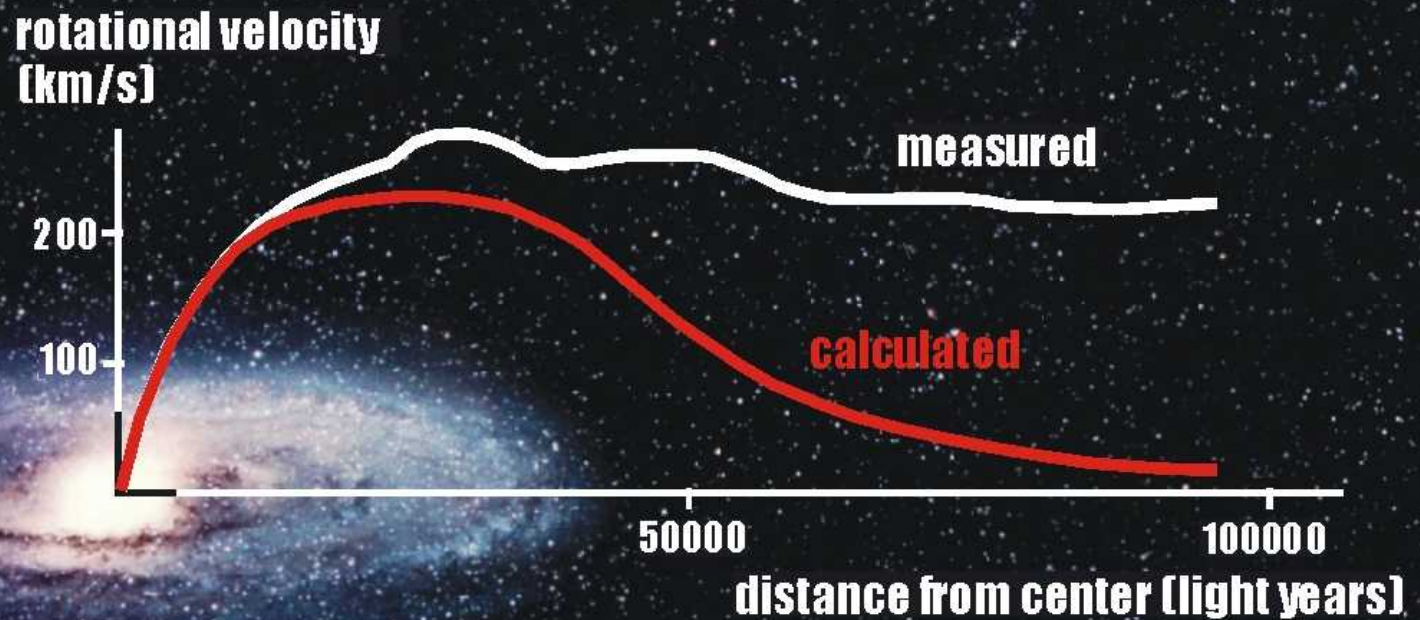


COME DOVREBBE RUOTARE

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

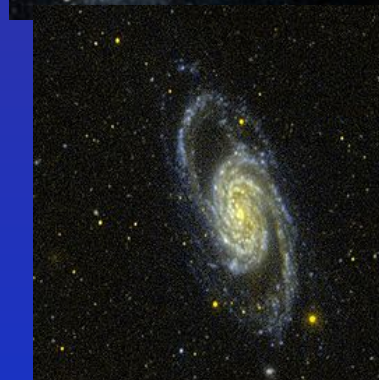
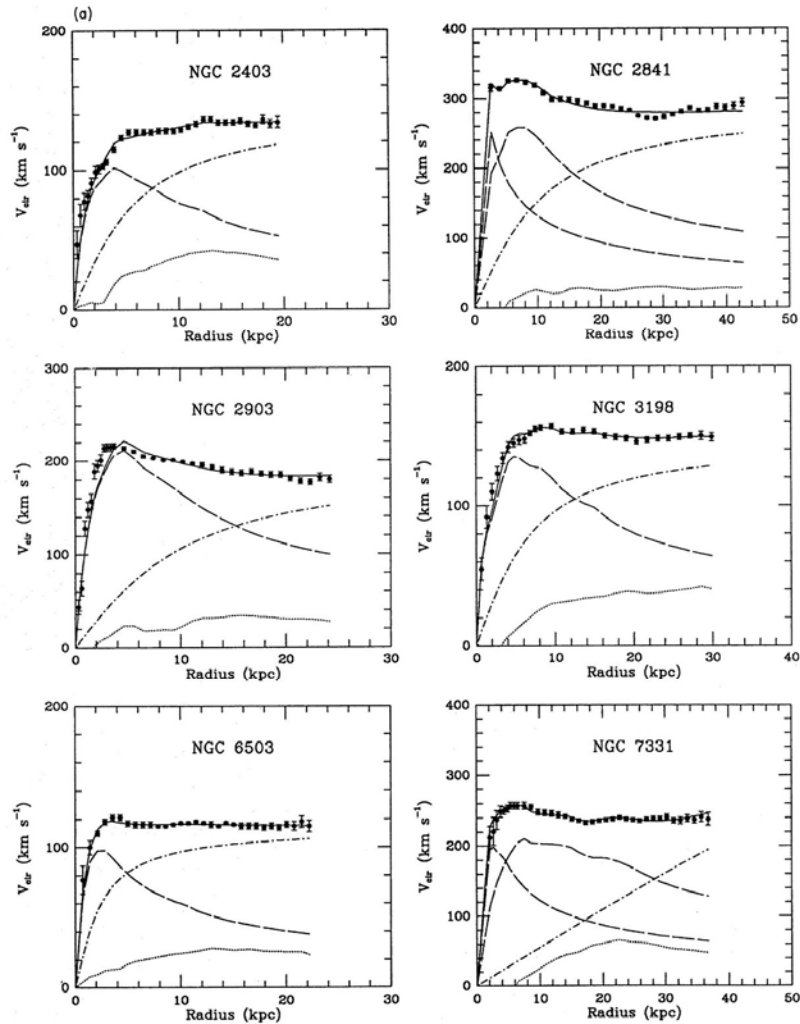


TEORIA E PRATICA



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

ALTRE GALASSIE

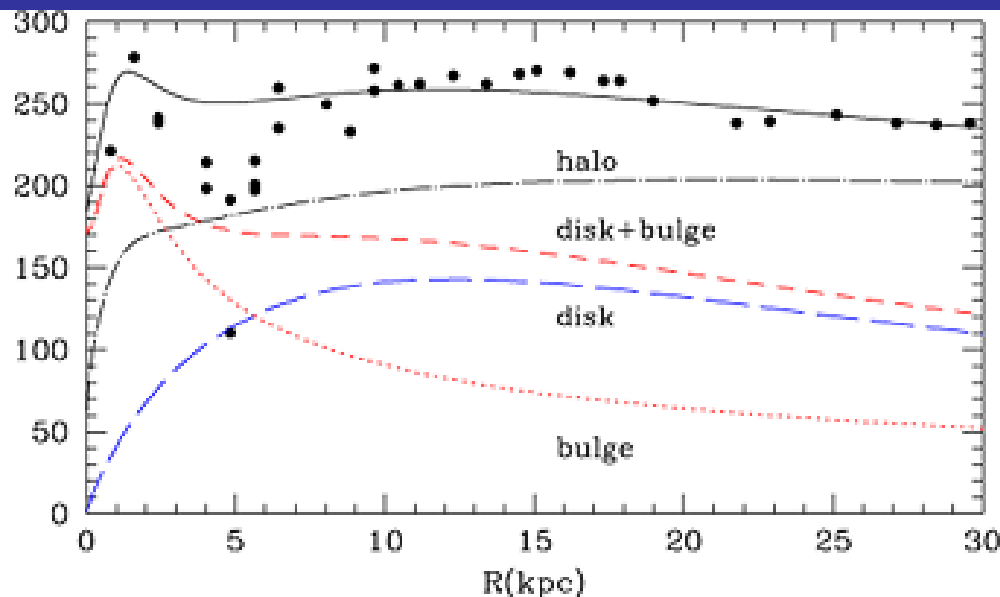
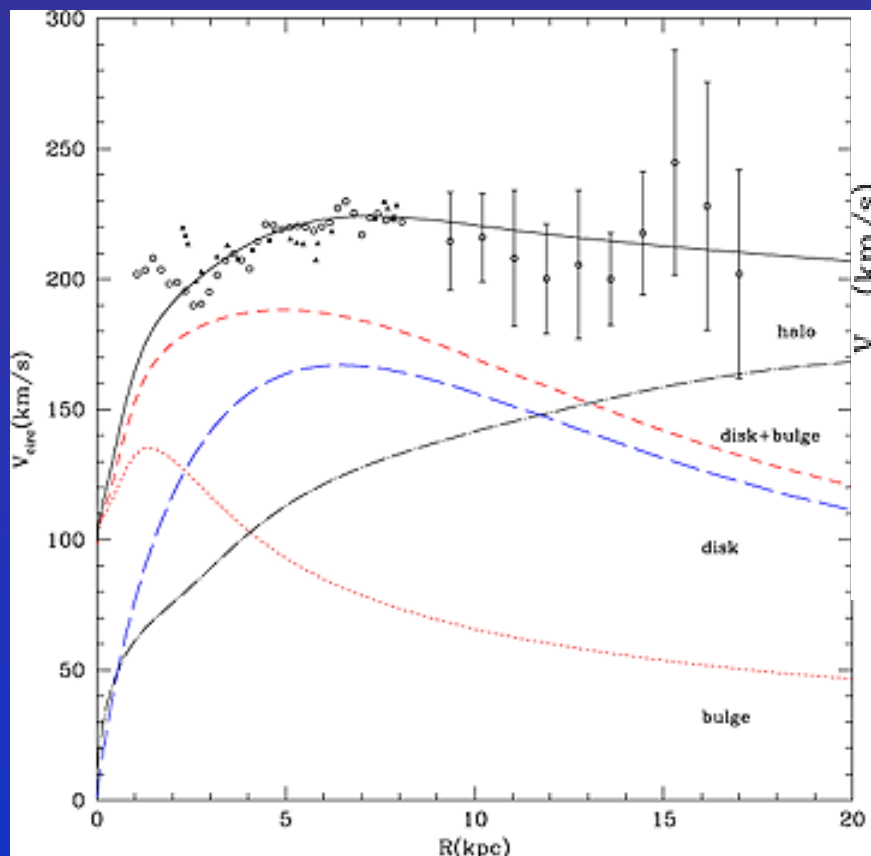


Credit: Begeman, Broeils, Sanders,
Mon. Not. R. astr. Soc., 1991

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**



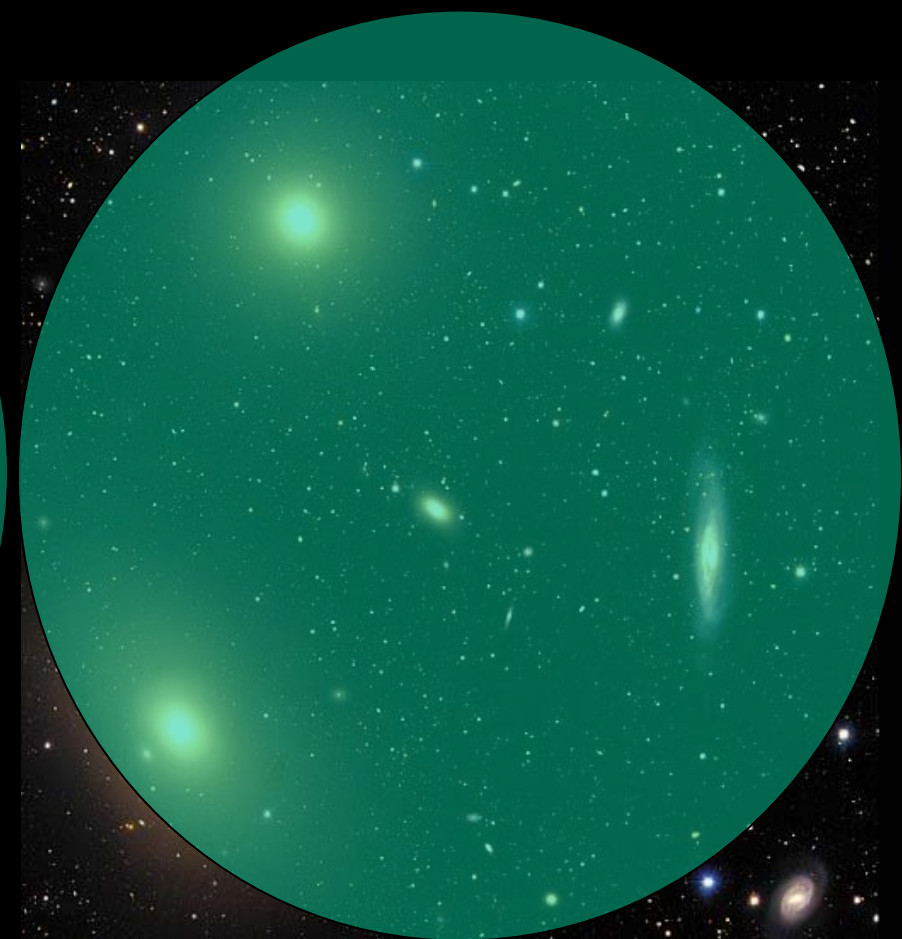
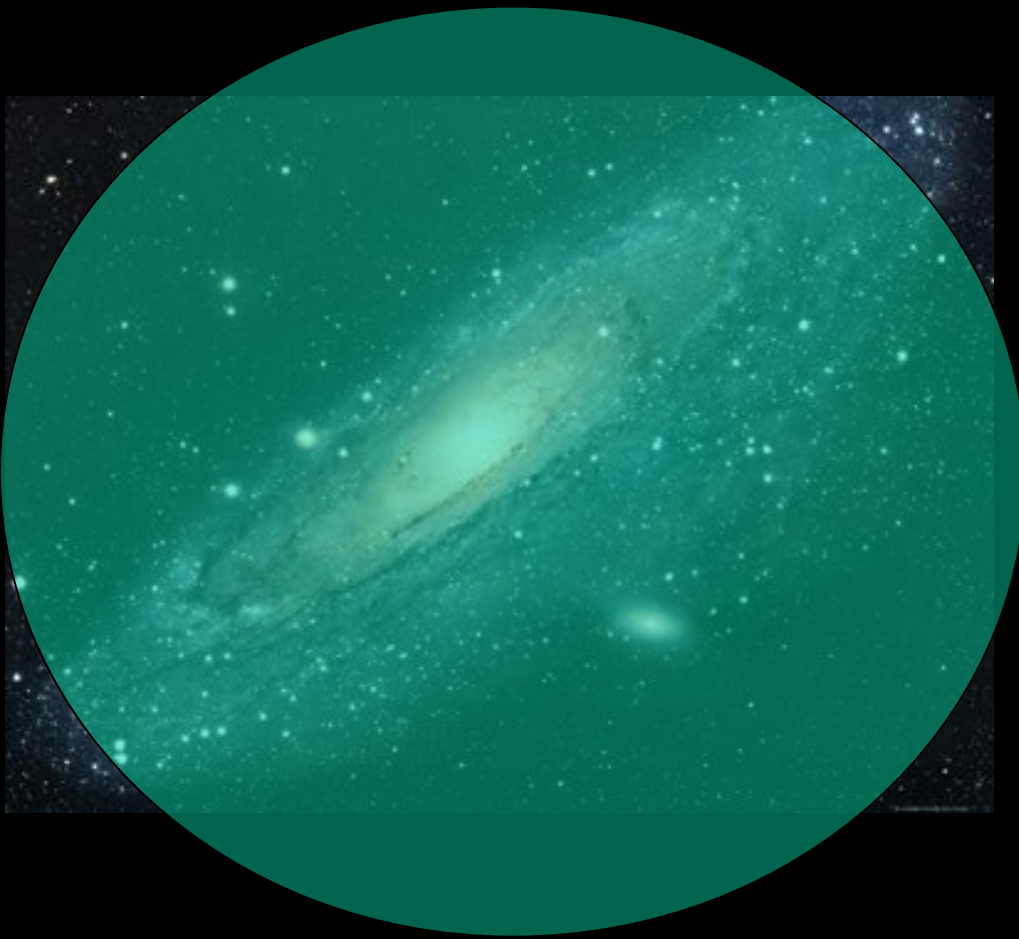
GC 6946 10 Mly Cep

**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 $M \sim 1,4 M_{\odot}$

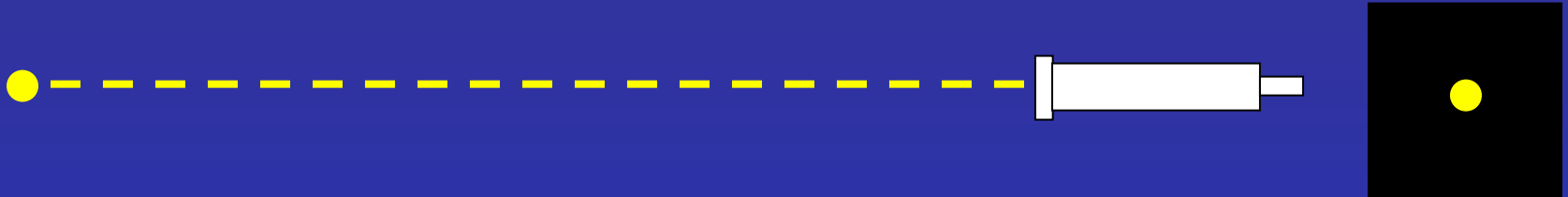


BUCHI NERI $M > 1,4 M_{\odot}$

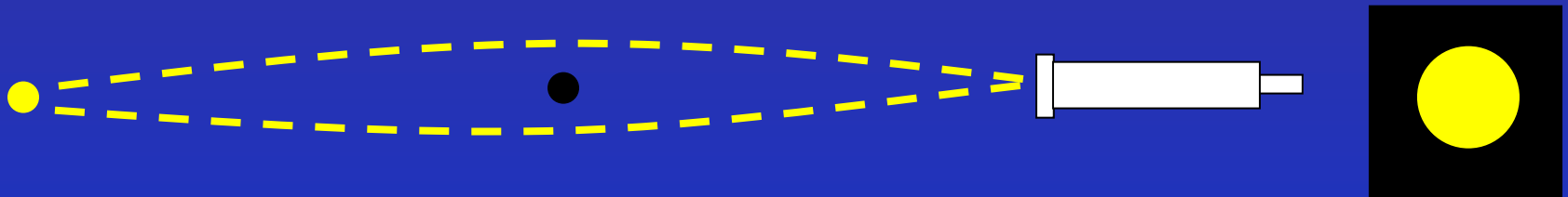
QUANTI SONO I MACHOs?



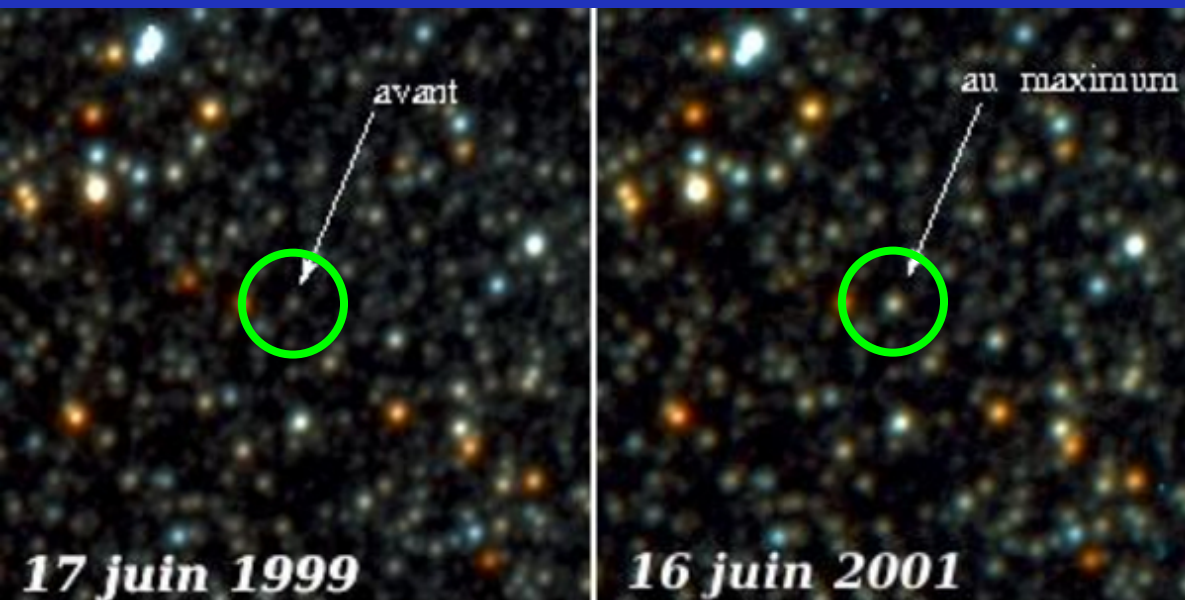
MICROLENTI



UN MACHO SI FRAPPONE TRA UNA STELLA E L'OSSERVATORE



MICROLENSING

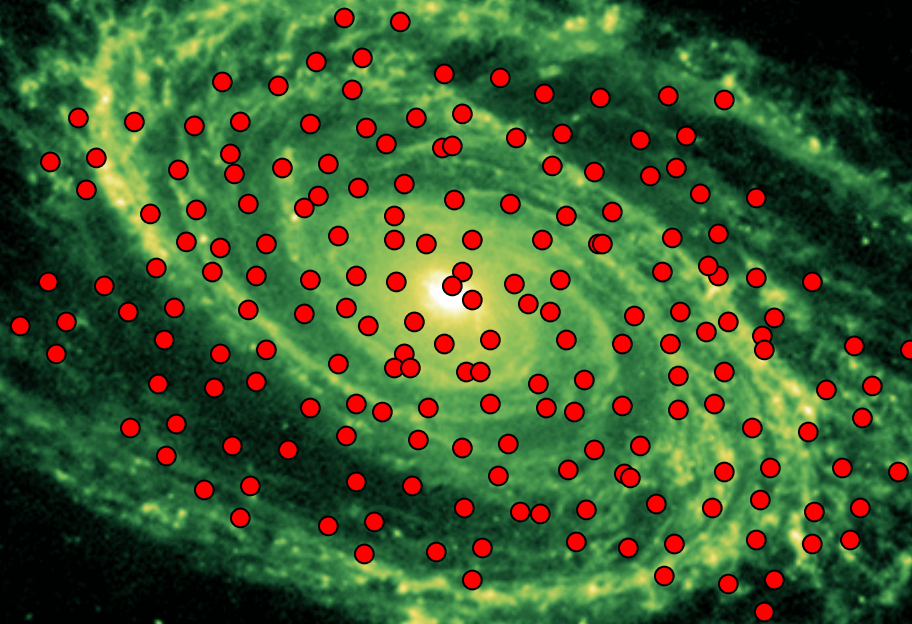


MICROLENSING
OSSERVATO DAL
PROGETTO EROS
Credit: EROS Project



QUANTI MACHOs?

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

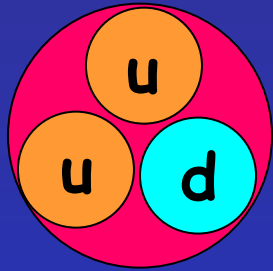


M81 12 Mly UMa Credit: NASA

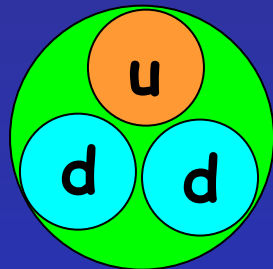


BARIONI

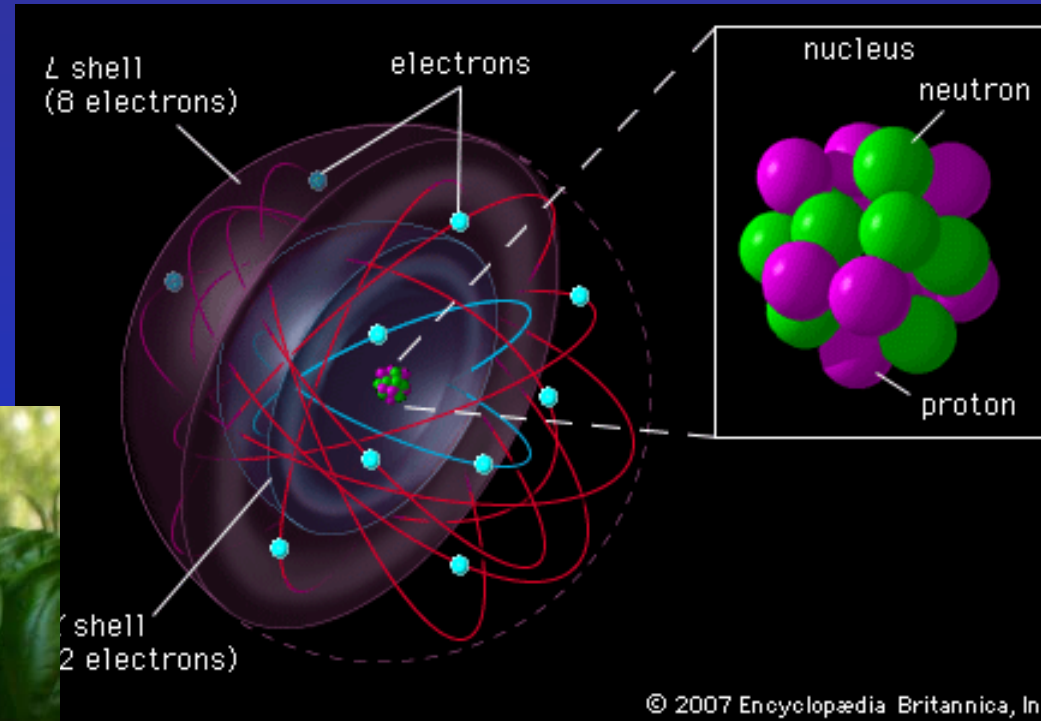
I BARIONI SONO LE PARTICELLE COSTITUITE DA QUARK



PROTONE



NEUTRONE



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.



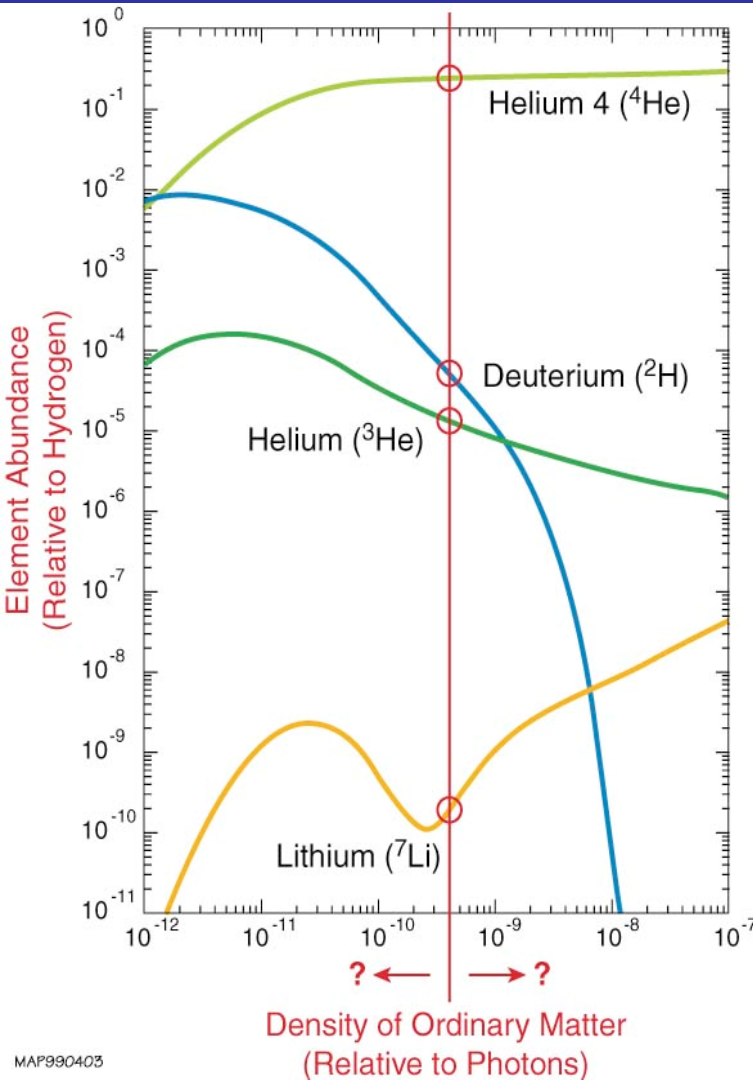
MATERIA BARIONICA

**LA MASSA DELLA MATERIA
ORDINARIA E' COSTITUITA
PREVALENTEMENTE DA BARIONI**

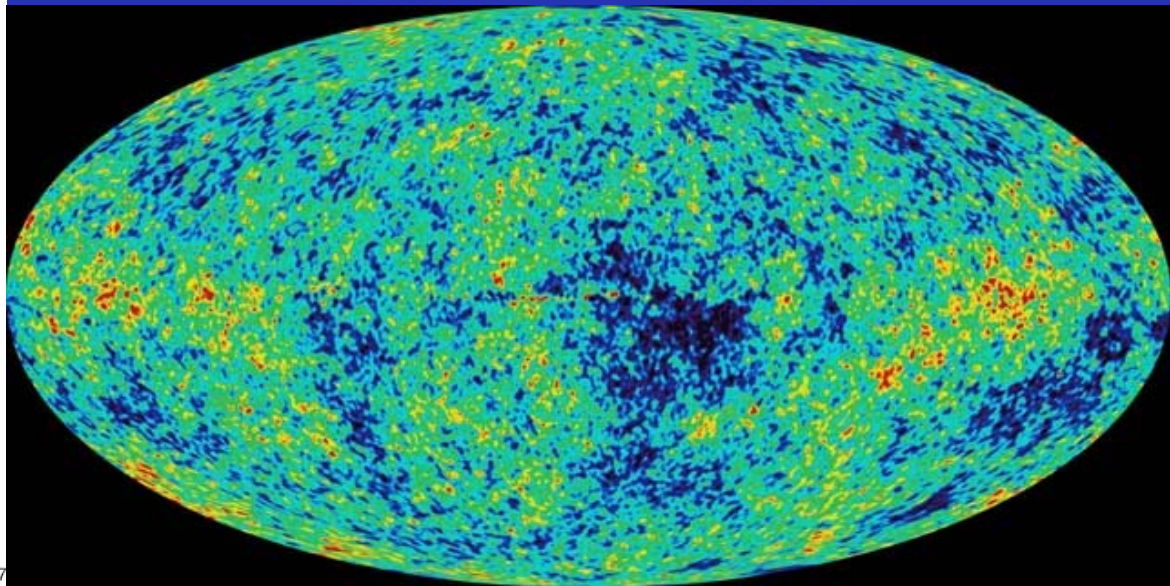


I BARIONI NON BASTANO

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**

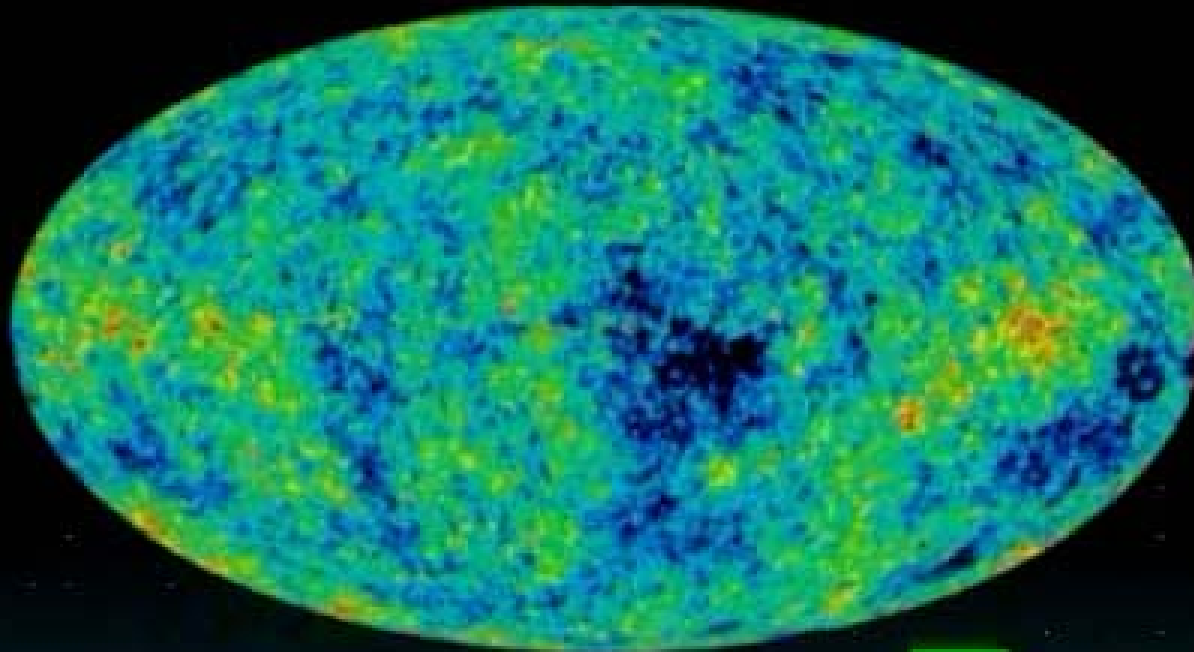


MAPPA CMB Credit: NASA



AGGIUSTARE I PARAMETRI

~85% MATERIA OSCURA E ~15% MATERIA BARIONICA

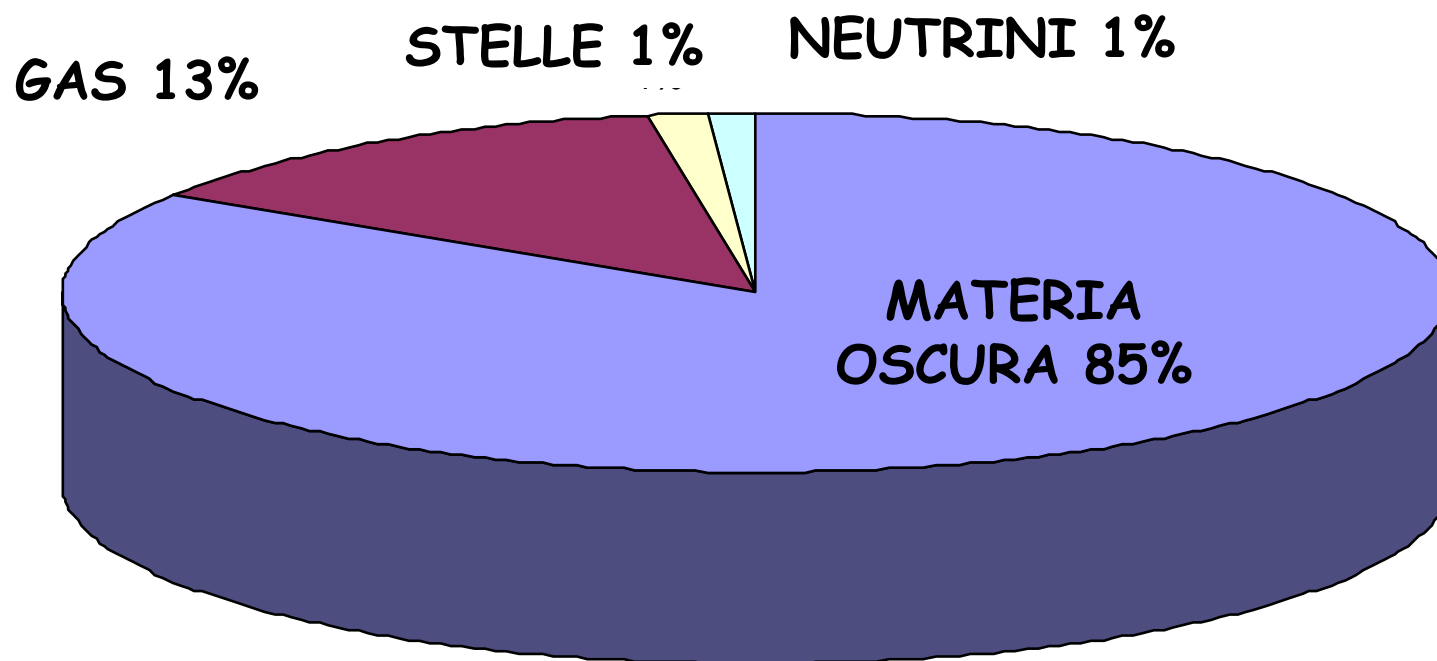


Credit: NASA



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

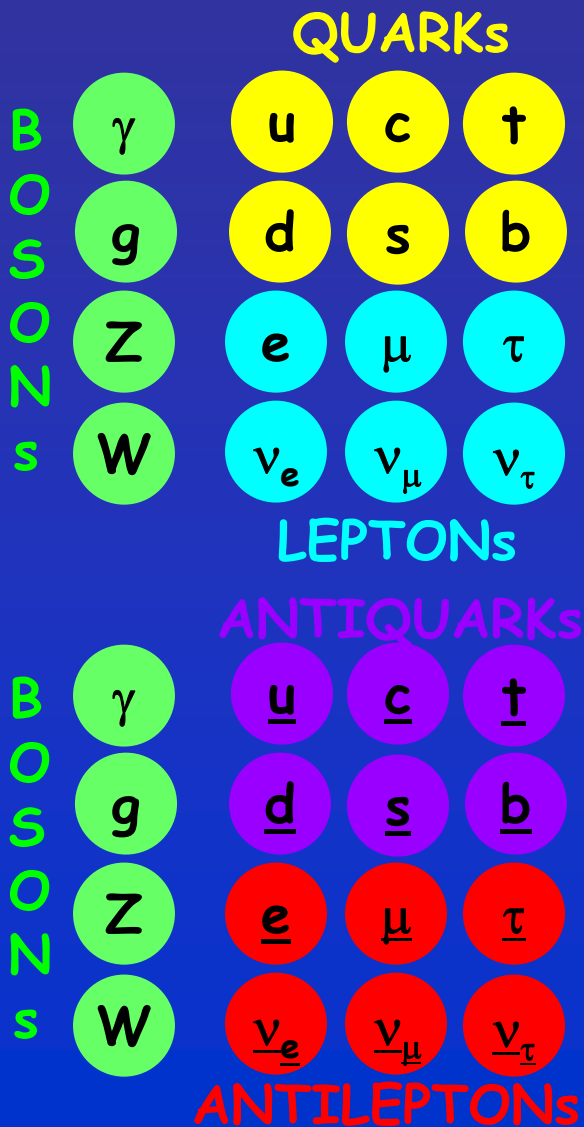
FOTONE



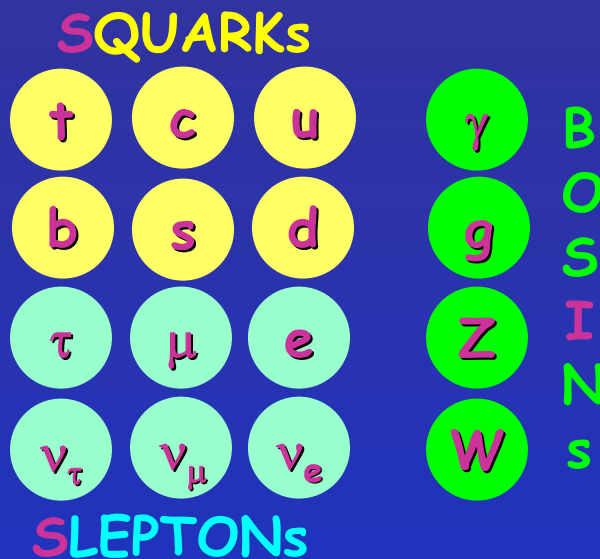
SUSY

AD OGNI PARTICELLA E' ASSOCIATA UNA SUPERPARTICELLA

PARTICLES ANTIPARTICLES



SUSY



SUPERPARTICLES

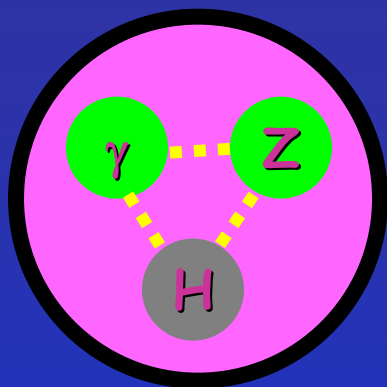
ALCUNI PARTNER SUPERSIMMETRICI





NEUTRALINO

4 TIPI DI
NEUTRALINO

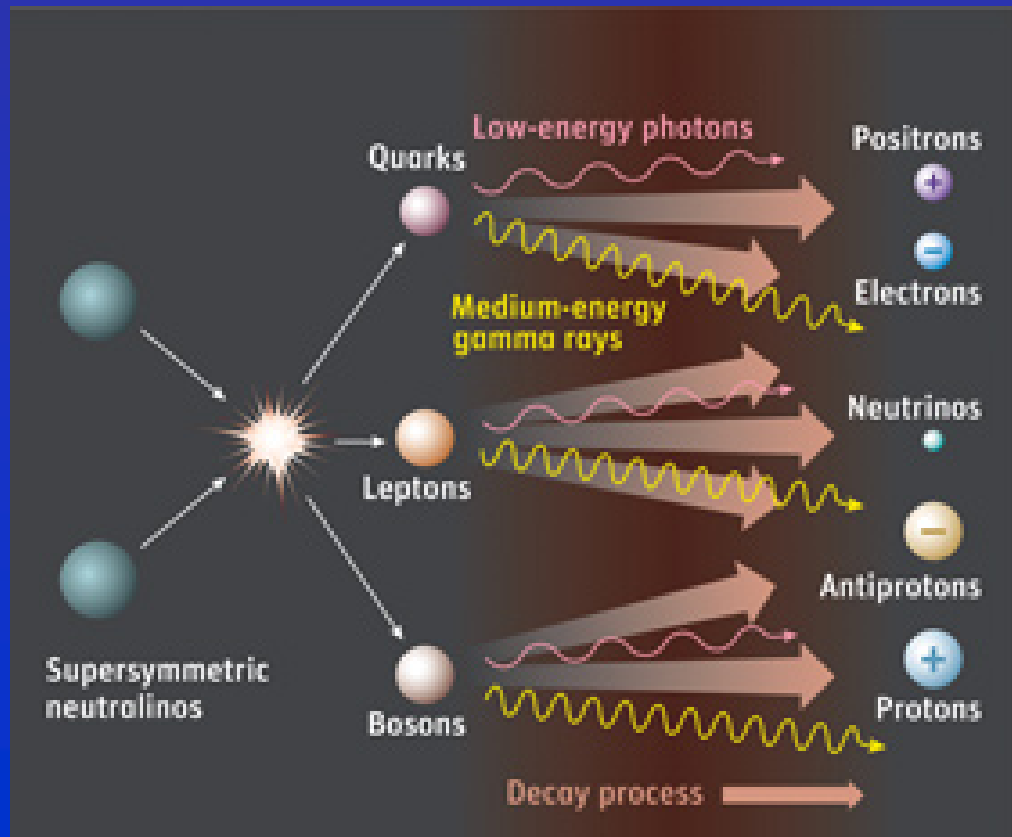


NEUTRALINO χ^0_1

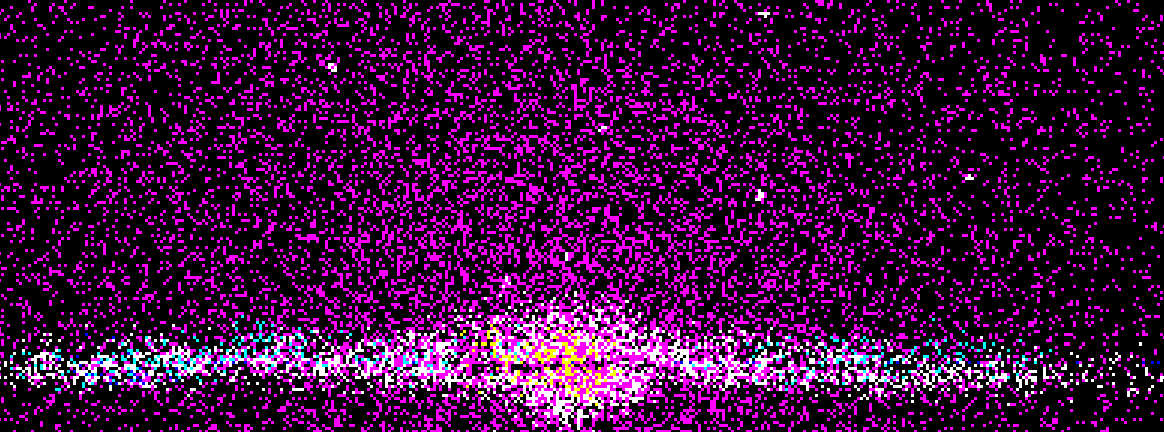
CARICA ELETTRICA E DI
COLORE NULLE,
INTERAGISCE SOLO
GRAVITAZIONALMENTE E
DEBOLMENTE

MASSA $10-10^4$ GeV

SCHEMA DI POSSIBILI
DECADIMENTI DEL
NEUTRALINO



SIMULAZIONE DISTRIBUZIONE DI WIMPS NELLA GALASSIA



 distribution of
WIMPS

Credit: Oregon University

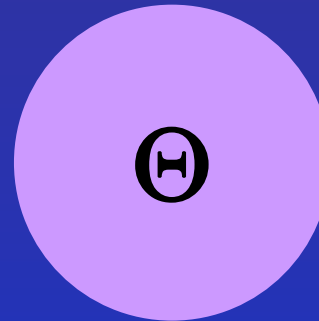


ASSIONI

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



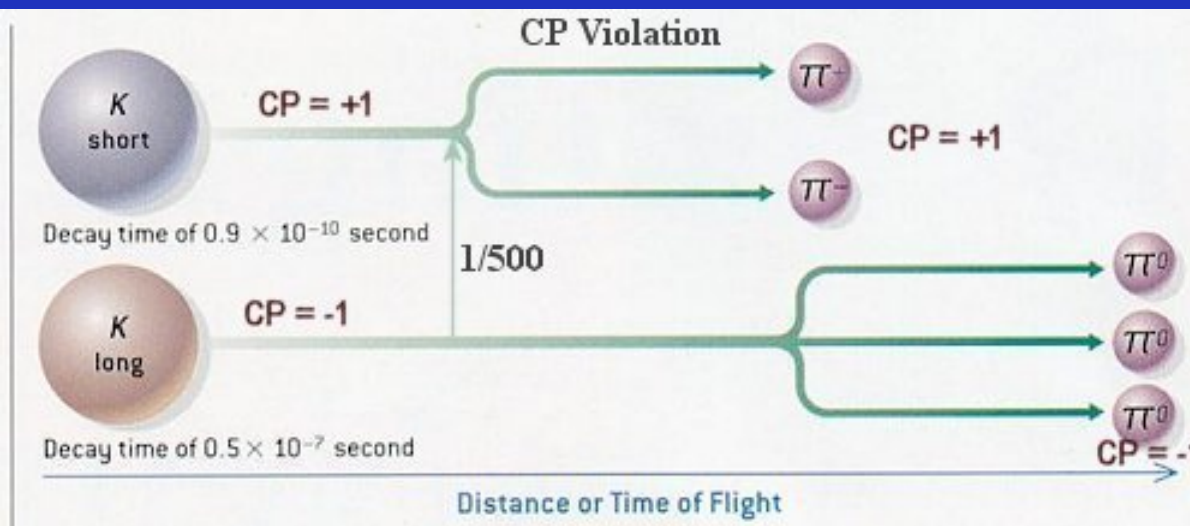
R. PECCEI E H. QUINN



ASSIONE

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

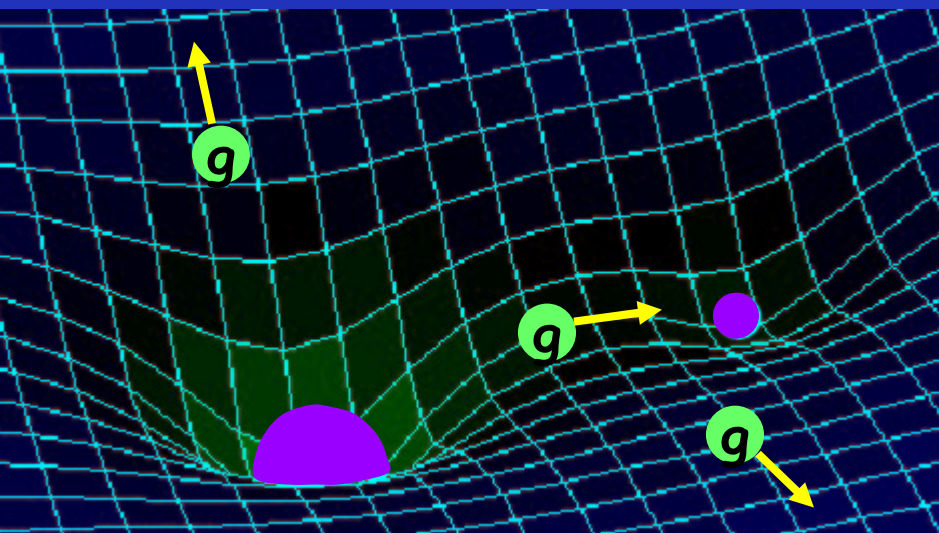
MASSA $10^{-6} - 1$ eV



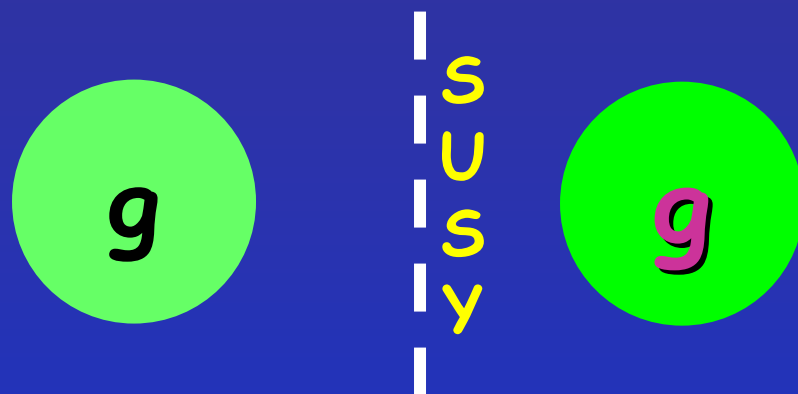


GRAVITINO

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

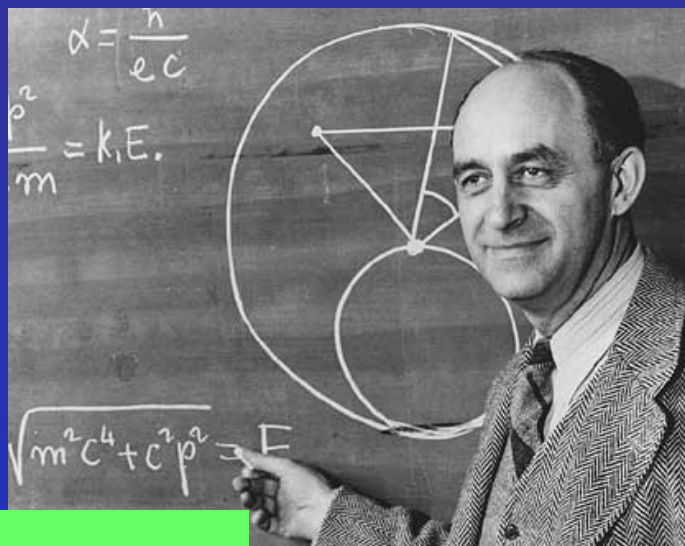


NEUTRINO

IPOTIZZATO NEL 1930 DA PAULI E RILEVATO NEL 1956



W, PAULI



E. FERMI

TEORIA DEL
DECADIMENTO
BETA

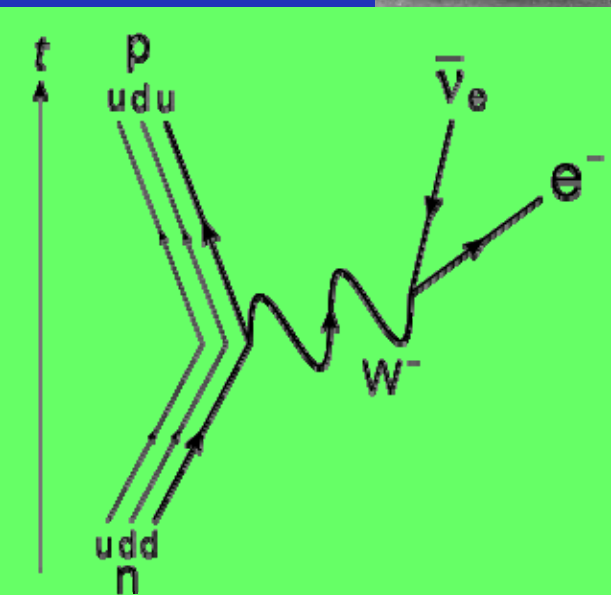
TRE TIPI DI NEUTRINO



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

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

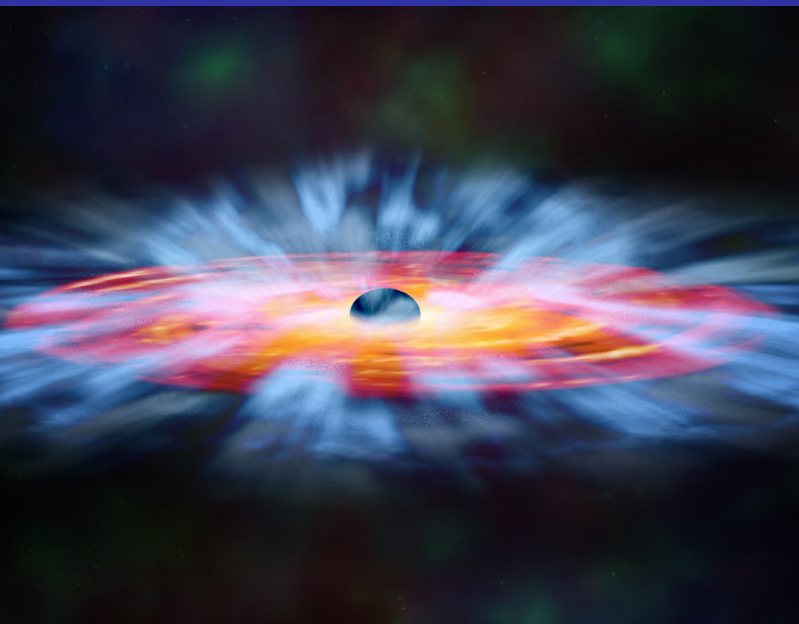
I NEUTRINI NON SEMBRANO
ABBASTANZA





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

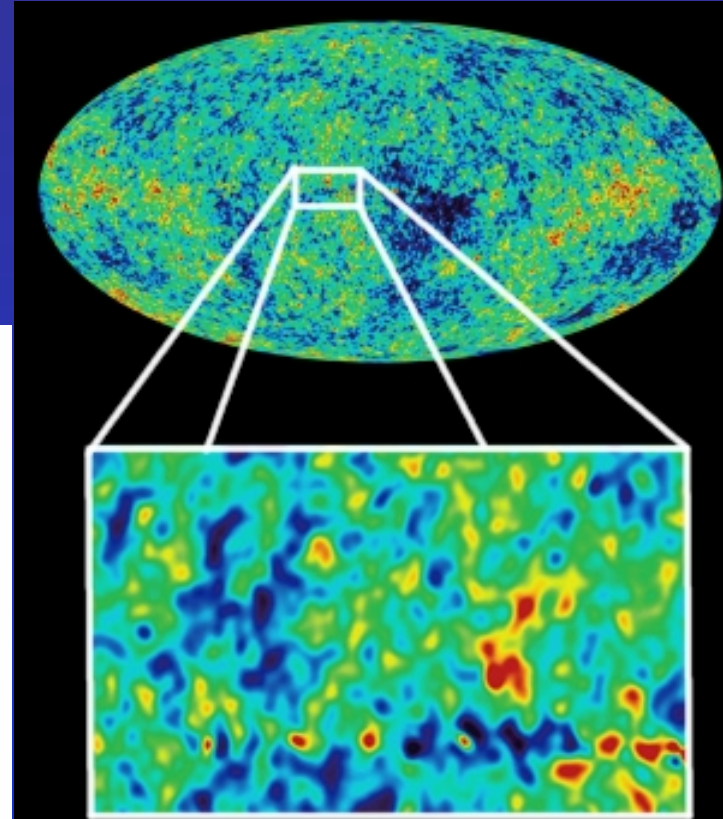
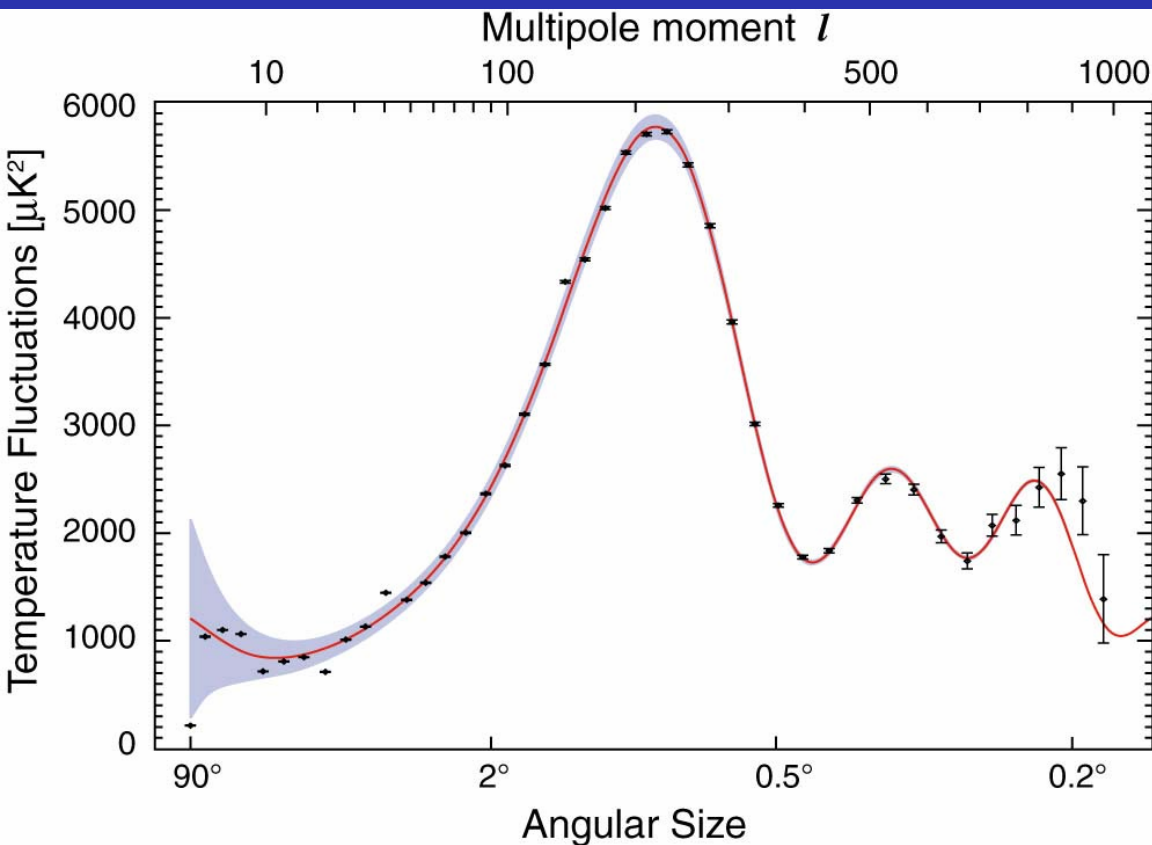
**PER IL SOLE
~10⁶⁷ anni**

- BH DI MASSA ~ 10¹² 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

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

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

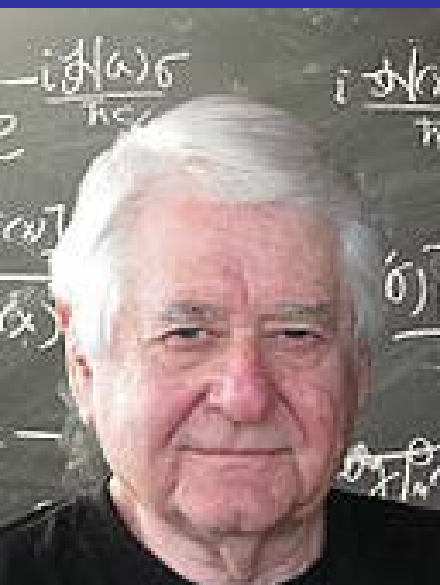
PER $a \ll a_0$ MILGROM

- 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

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

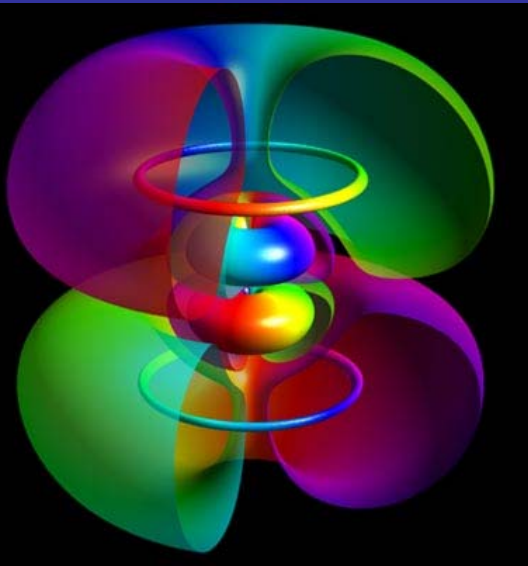
PARTE
SIMMETRICA

PARTE
ANTISIMMETRICA

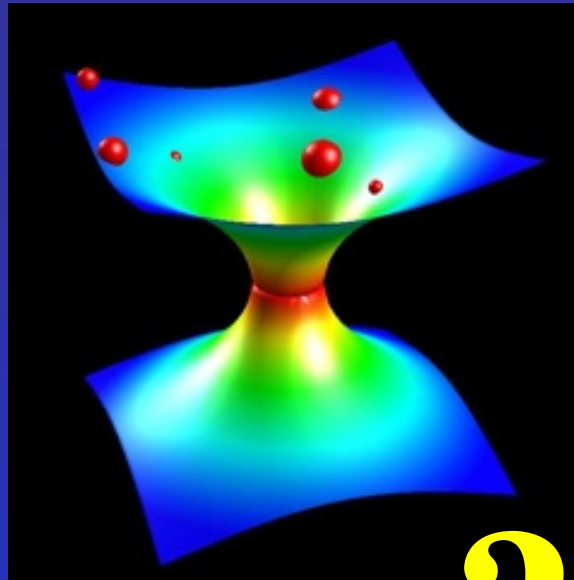
- RIPRODUCE LE CURVE PIATTE DI ROTAZIONE DELLE GALASSIE
- RIPRODUCE I PROFILI DI MASSA DEGLI AMMASSI DI GALASSIE
- ESISTONO ALTRE PROPOSTE DI MOFFAT (FORSE TeVeS)



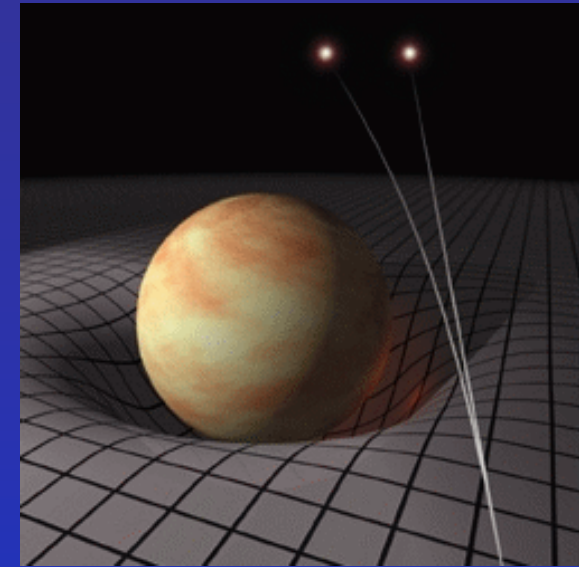
QUANTUM GRAVITY



**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

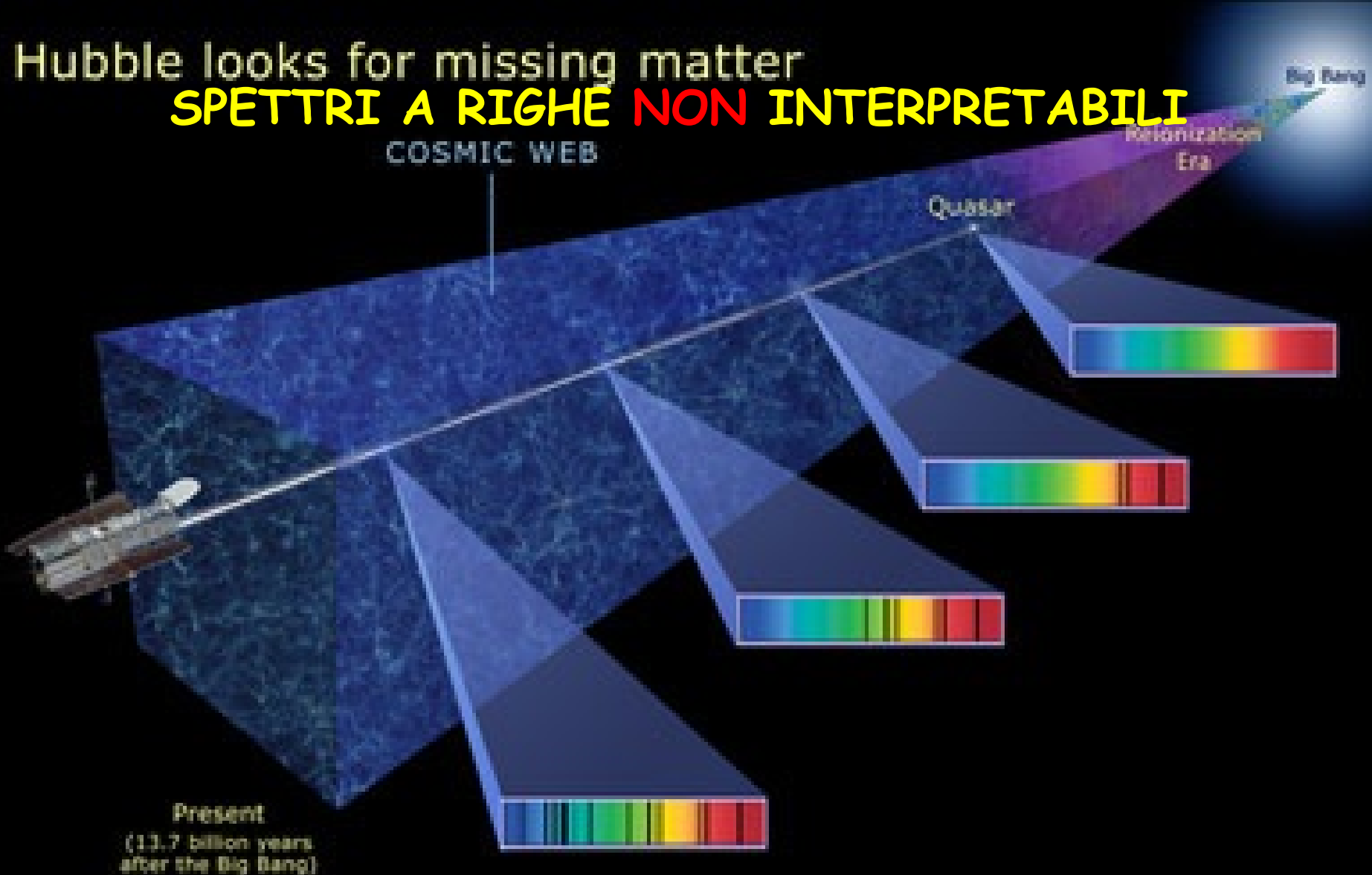
SPETTRI A RIGHE NON INTERPRETABILI

COSMIC WEB

Quasar

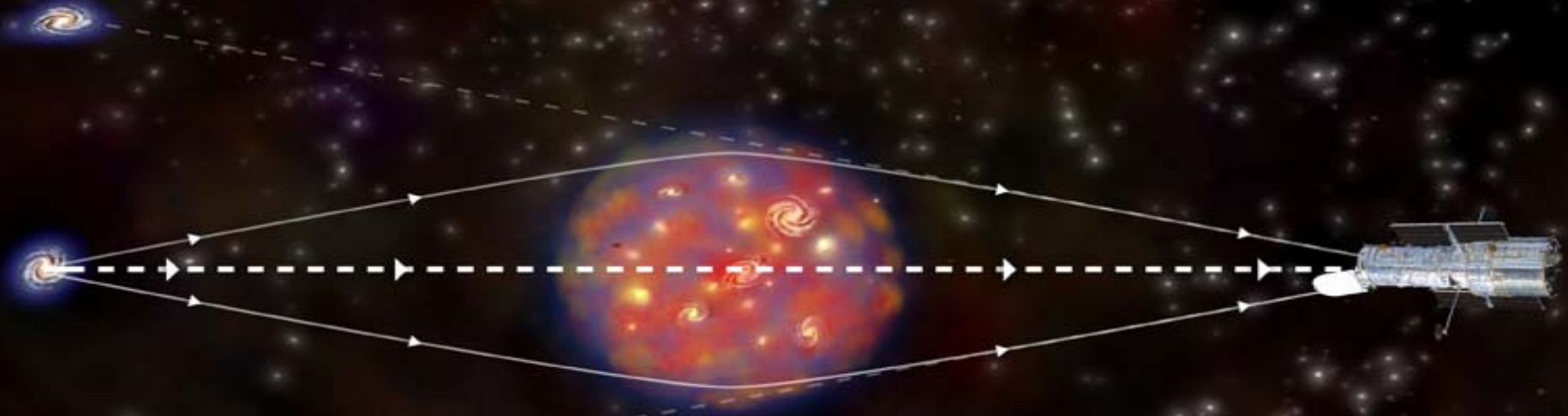
Reionization
Era

Big Bang



Present
(13.7 billion years
after the Big Bang)

LENTI COSMICHE

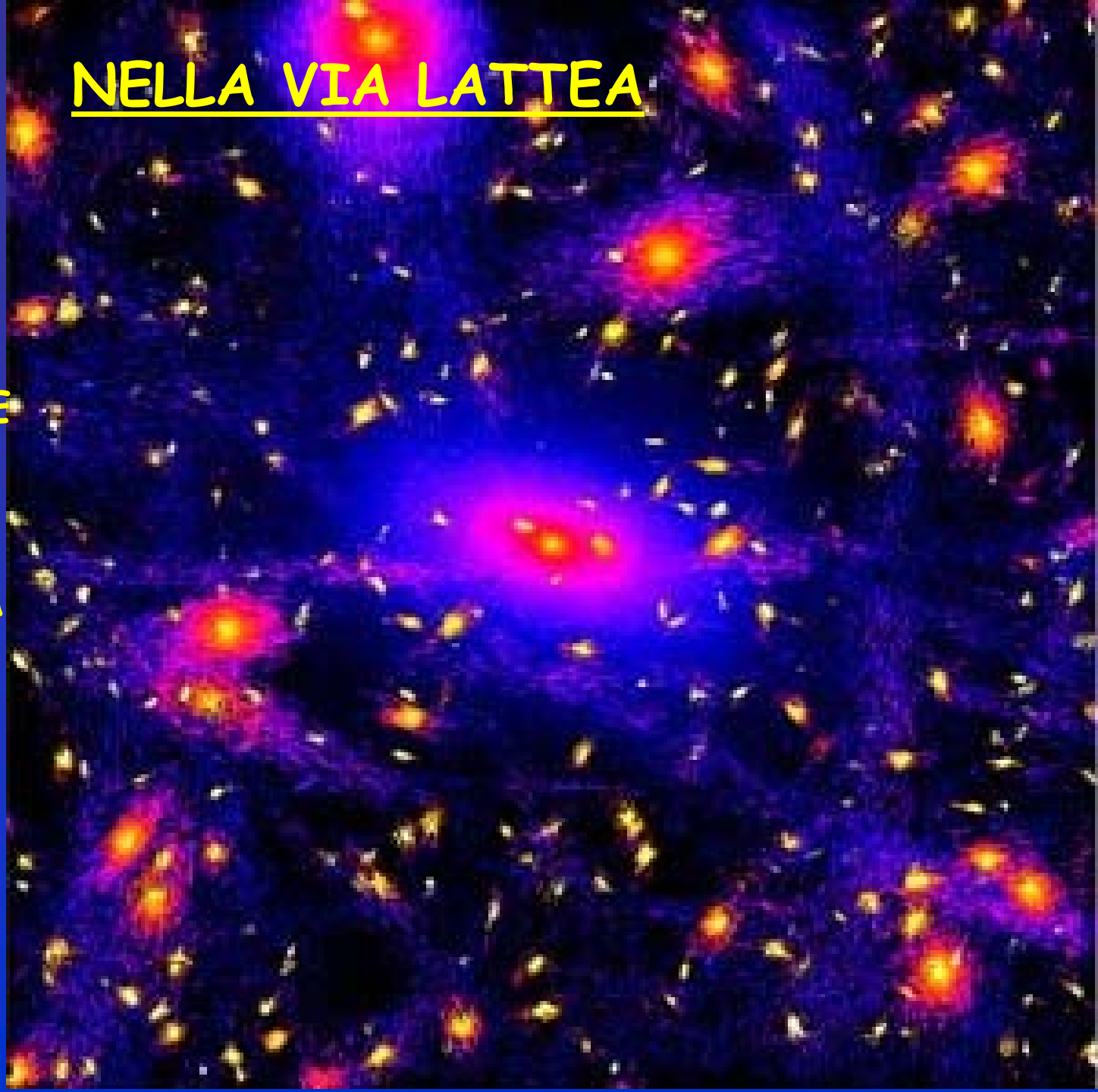


**LENTE GRAVITAZIONALE PRODOTTA DA UN AMMASSO
DI GALASSIE Credit: NASA**



NELLA VIA LATTEA

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





GALASSIA

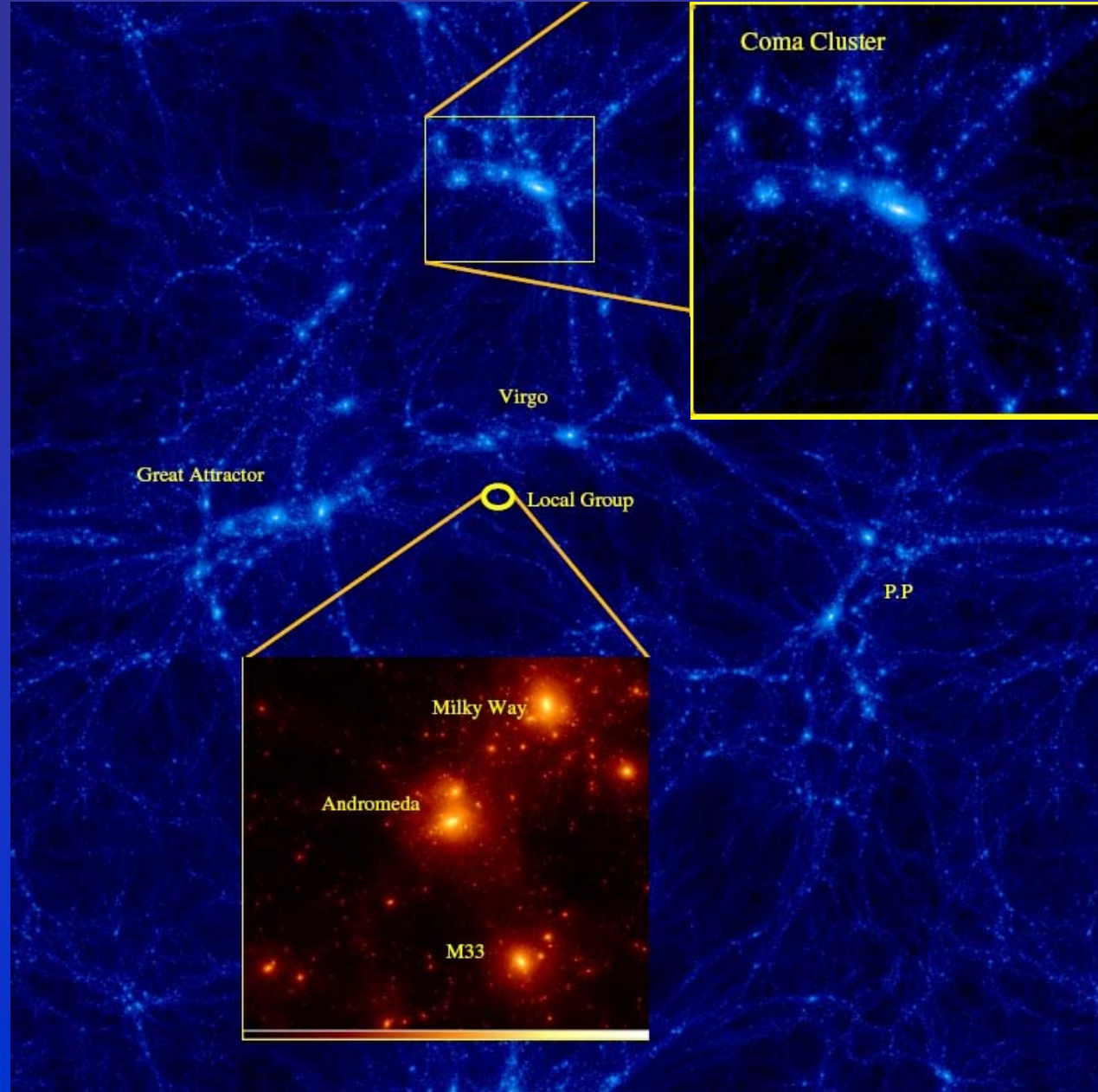


SIMULAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DI **MATERIA OSCURA** IN
UNA GALASSIA. Credit: Stelios Kazantzidis, Ohio State University



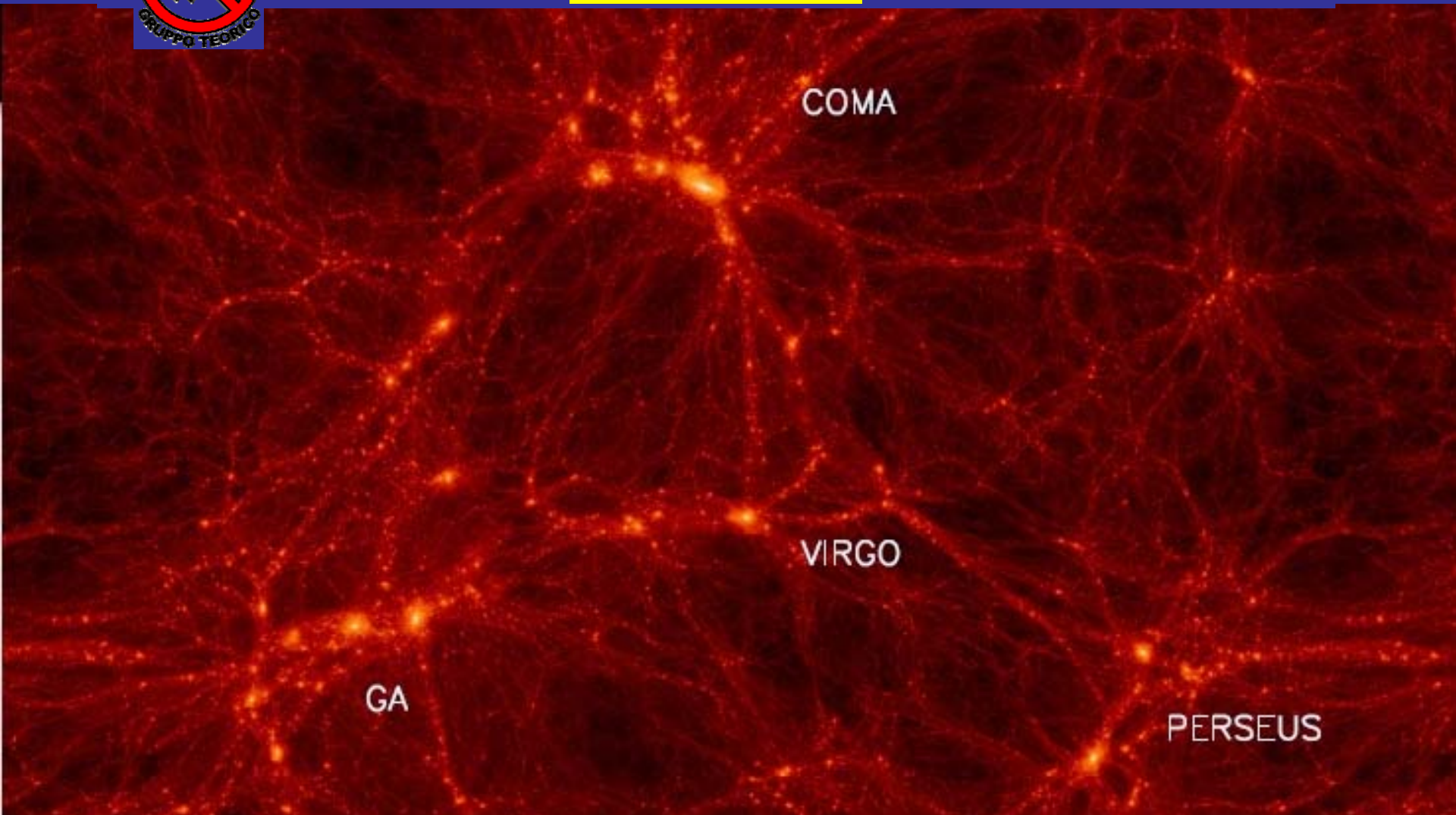
INTORNO A NOI

**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

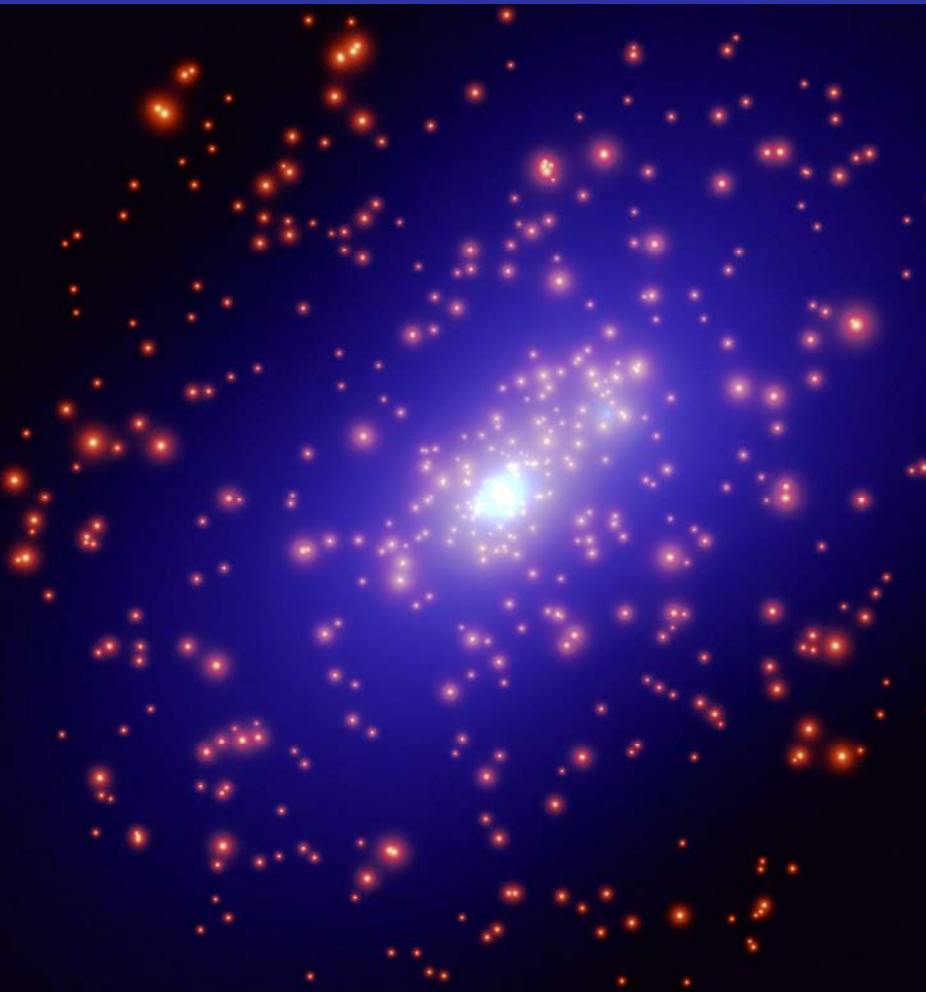


SIMULAZIONE SU LARGA SCALA DELLA MATERIA OSCURA IN UN BOX DI CIRCA 180 MPc/h (Credit: S. Gottlöber, G. Yepes, A. Klypin, A. Khalatyan)



AMMASSI

AMMASSO DI GALASSIE
Cl0024+1654 Credit: NASA-ESA



AMMASSO DI GALASSIE
ZwCl0024+1652 Credit: NASA



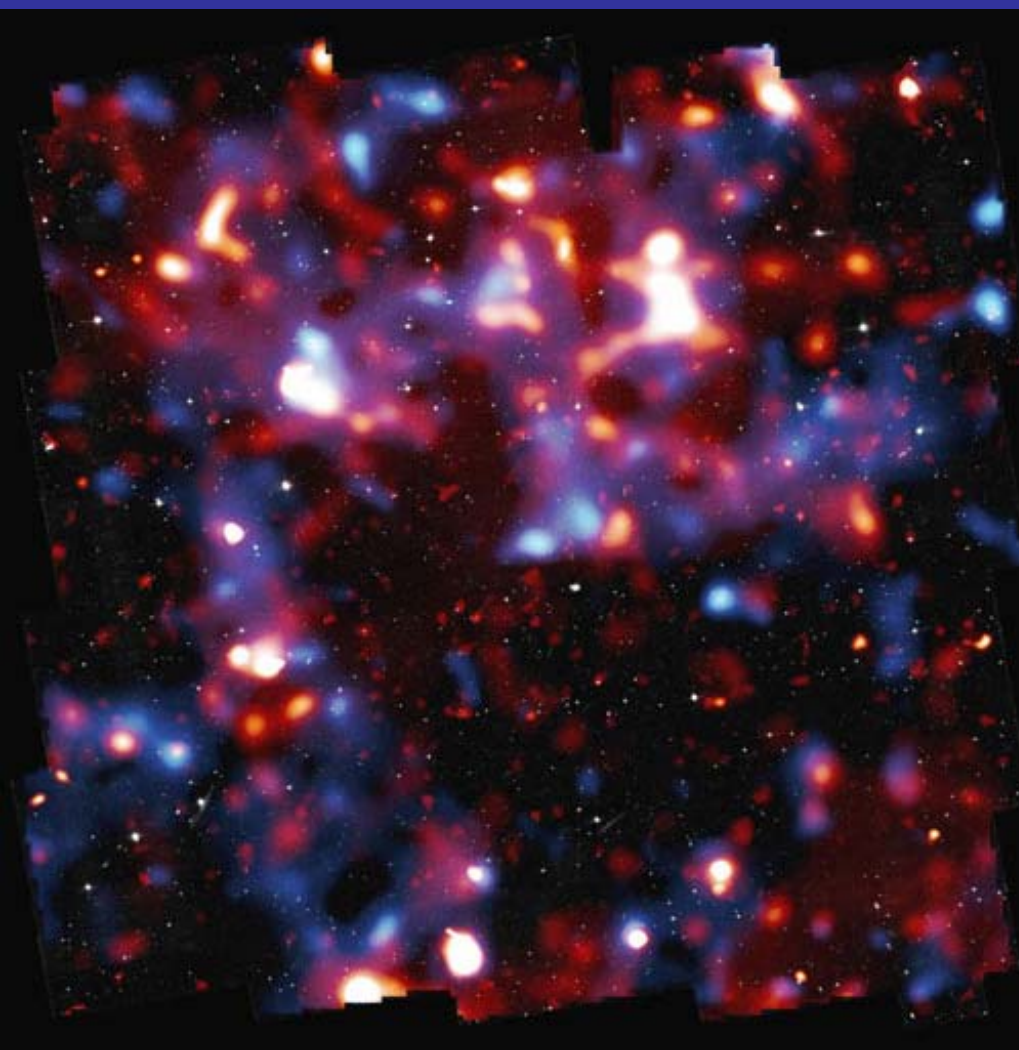


COLLISIONI COSMICHE

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

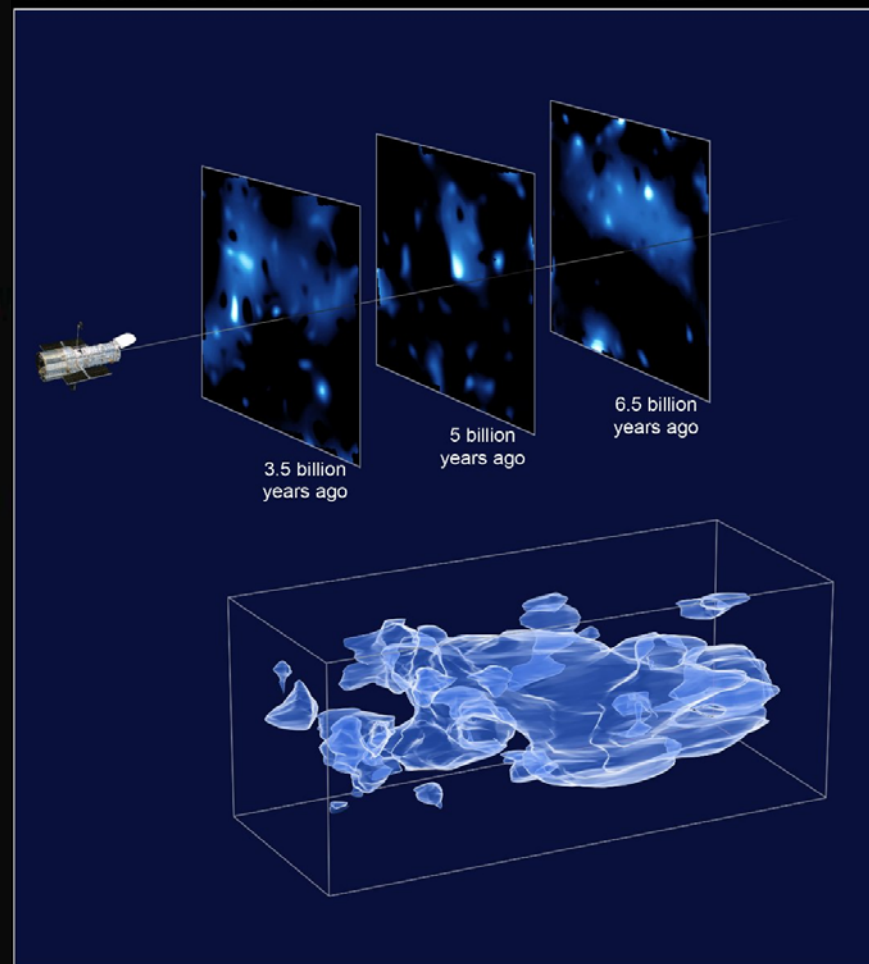


VEDERE L'INVISIBILE



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?