

Universo in Fiore 2017

CORSO BASE

I GIGANTI DEL COSMO: GLI AMMASSI DI GALASSIE

Sabrina De Grandi

INAF



Osservatorio
Astronomico
di

INAF

Brera

sabrina.degrandi@brera.inaf.it

Organizzazione spaziale delle galassie

Ammassi

Gruppi

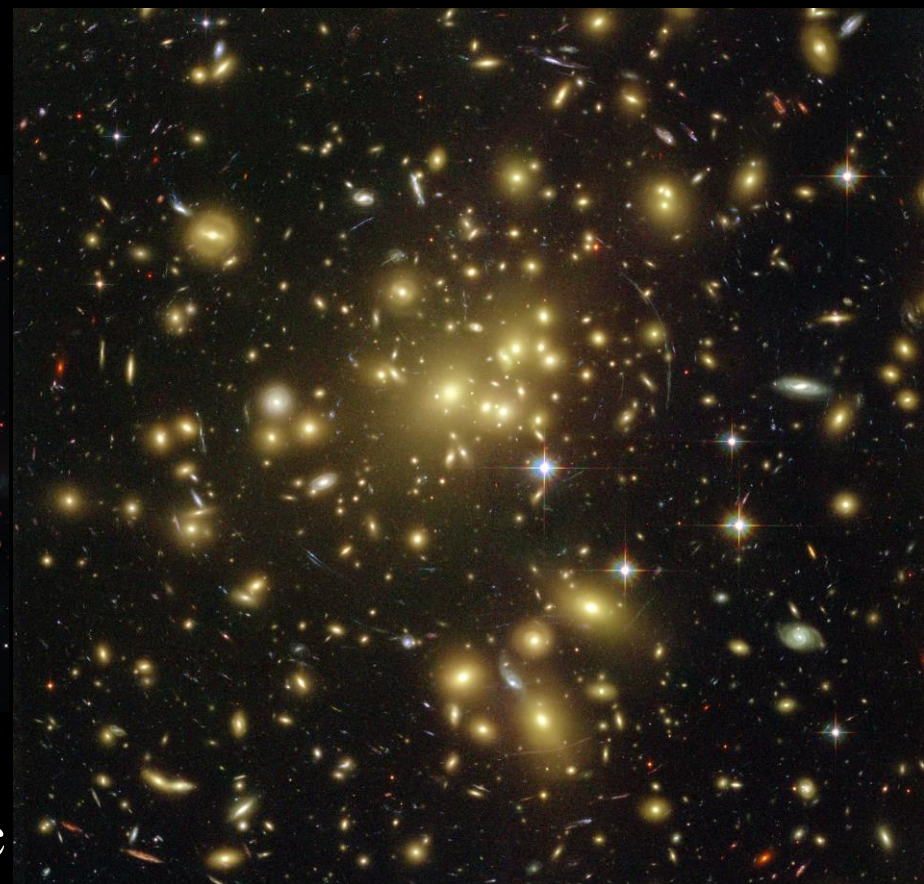
Galassie



100 mila a.l.
~30 kpc



3 milioni a.l. ~ 10^3 kpc



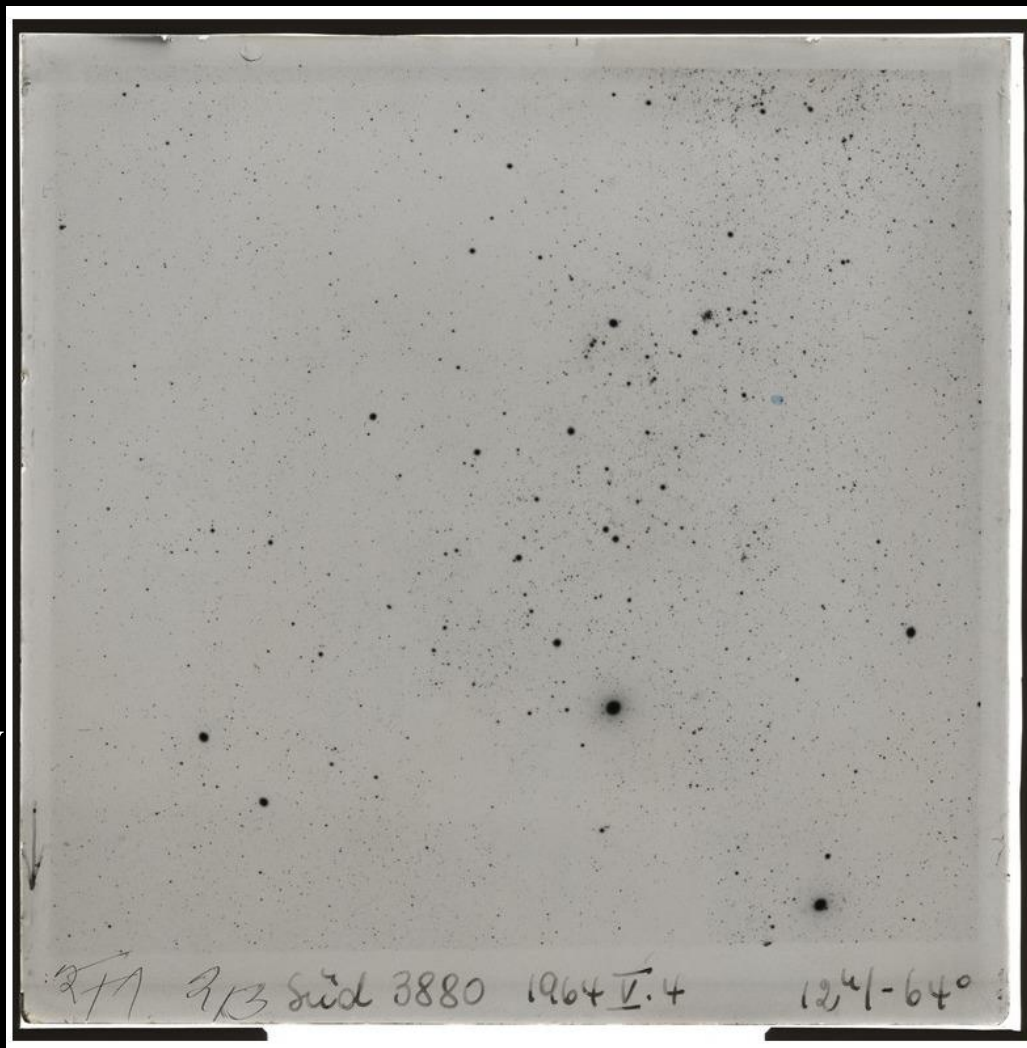
20 milioni a.l. ~ 7×10^3 kpc

I primi cataloghi di ammassi

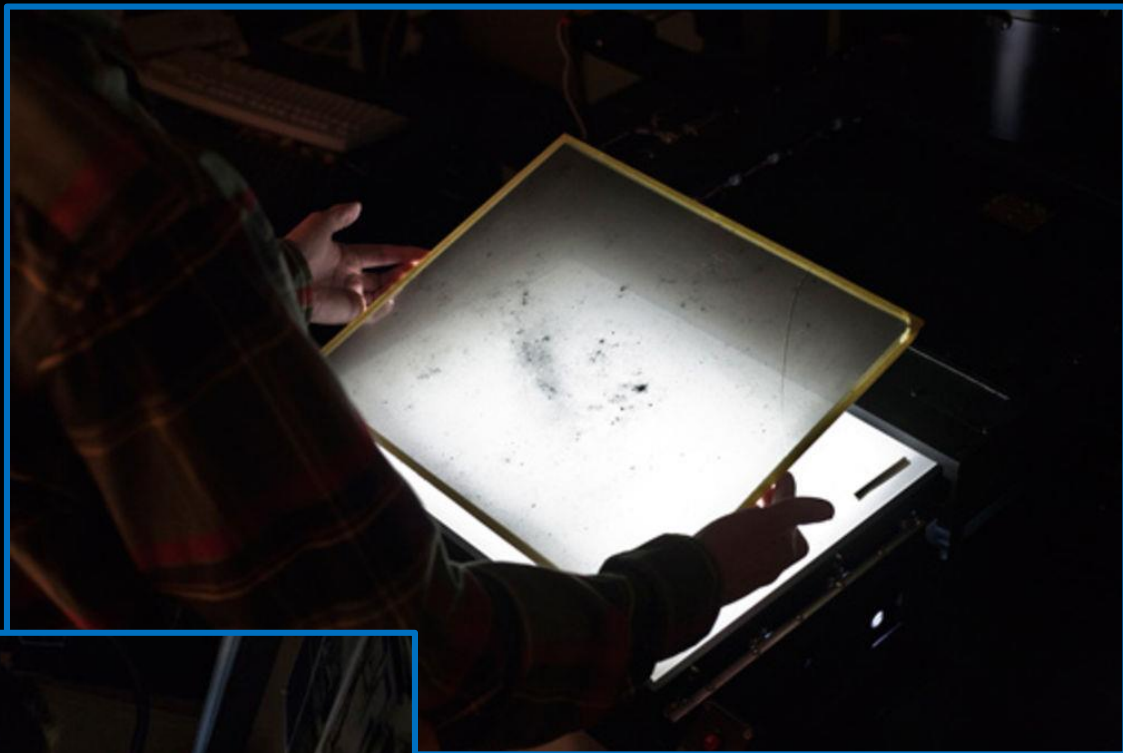
Fino agli anni '80:
ispezione visuale di
lastre fotografiche
alla ricerca di
sovradensita' di
galassie.

Es. di lastre fotografiche:

- PSS: National Geographic Society-Palomar Observatory Sky Survey (Telescopio 5m Hale, Mt. Wilson US)
- UKST: Schmidt telescope IIIa-J plates (Telescopio 1.2m, UK-Australia),...



I cataloghi di
Abell (1958)
e
Zwicky (1961-1968)



Il catalogo piu' usato:
Abell (1958)
Emisfero Nord (2712)
e
A.C.O. (1989)
Emisfero Sud (1364).



1958: Abell ispeziono'
di 104 deg^2 di lastre
PSS (Luna $\sim 0.25 \text{ deg}^2$)

Criteri principali:

- almeno 30 galassie
- compatto ($0.02 < z < 0.2$)
- piano galattico escluso

Dagli anni '90:

- algoritmi automatici di identificazione al posto dell'occhio umano.
- Non più lastre fotografiche, ma immagini digitali (CCD)

- SDSS (Sloan Digital Sky Survey), iniziata nel 2000 e tutt'ora in atto (35% del cielo osservato, 500 milioni di oggetti, catalogo di ammassi)
- Accesso libero ai dati (nel 2015: 13° Data Release)

Telescopio dedicato ad
Apache Point 2.5m (US)

Immagine SDSS
dell'ammasso A2142





MACS J1206.2-0847

DIAMETRO tipico di un ammasso di galassie
~ 20 milioni anni luce ~ 7 Mpc

SPICA (α costellazione della Vergine)

Corvus





MACS J1206.2-0847

DIAMETRO tipico di un ammasso di galassie
~ 20 milioni anni luce ~ 7 Mpc

ma...

DISTANZA di MACS J1206
~ 4.5 miliardi di anni luce ~ 1500 Mpc



Dove si trova la Via Lattea in
questa struttura universale?

ovvero

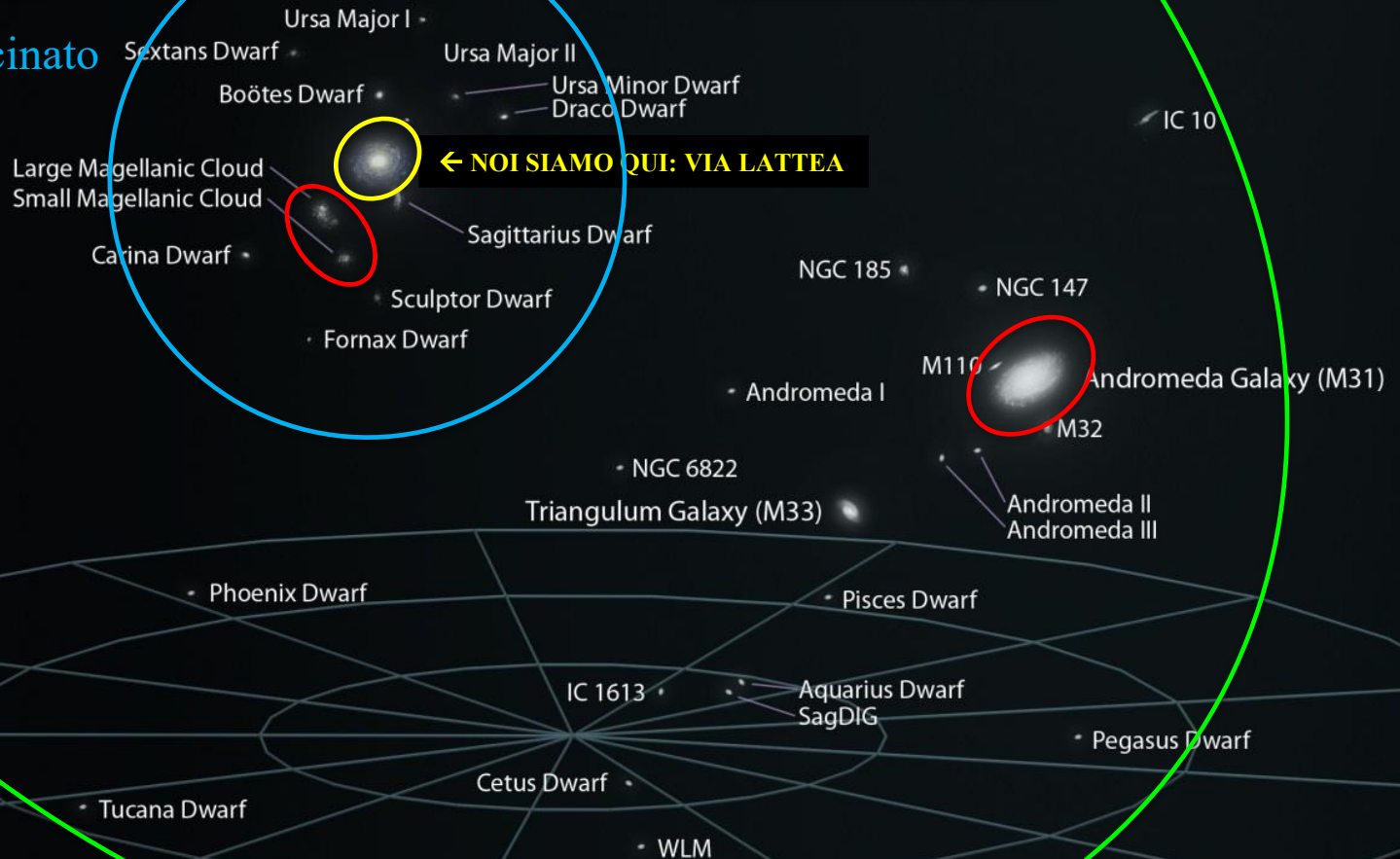
Noi ci troviamo in un
Ammasso di galassie?

Il Gruppo Locale

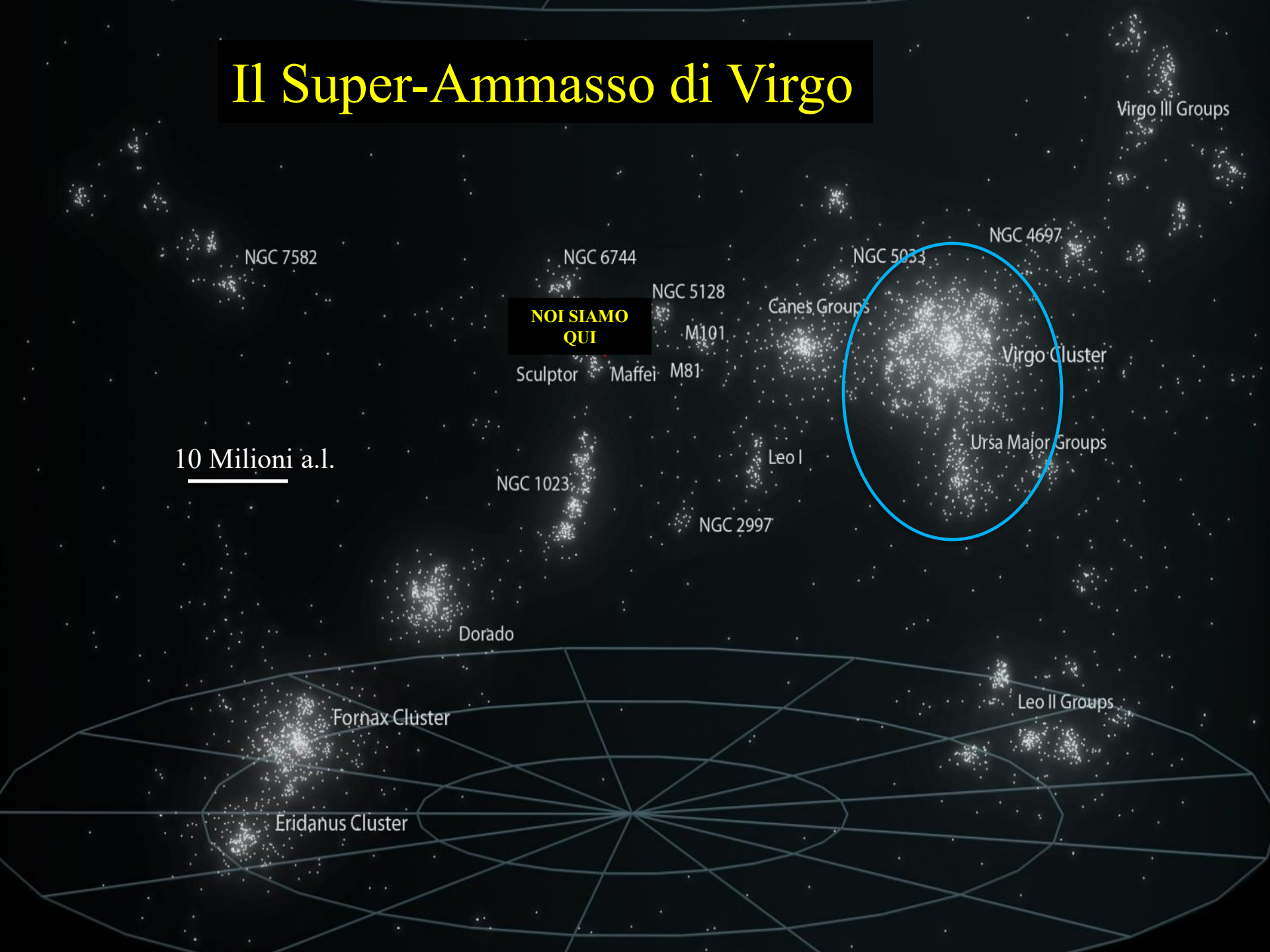
100.000 a.l.

1 Milione a.l.

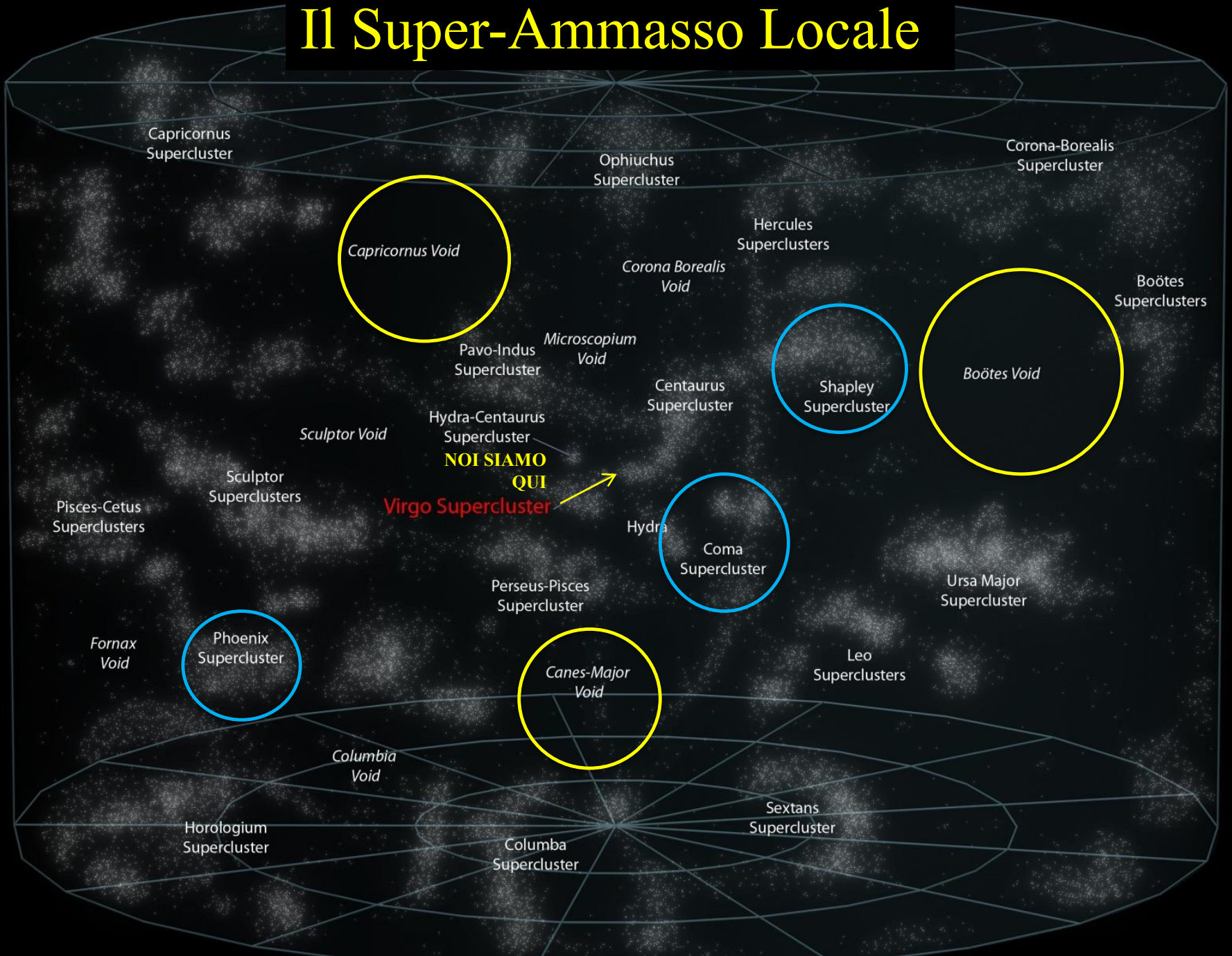
Il nostro vicinato



Il Super-Ammasso di Virgo



Il Super-Ammasso Locale



PANORAMA

Spazio

Laniakea, il "grande paradiso" cosmico che ci ospita

È una struttura larga cinquecento milioni di anni luce e che contiene centomila galassie. Gli astronomi ne hanno mappato i confini, ma è solo la punta dell'iceberg dell'immensa popolazione di oggetti sparsi nell'universo

4 settembre 2014

ACCEDI | ABBONATI

The Laniakea supercluster of galaxies

R. Brent Tully, Hélène Courtois, Yehuda Hoffman & Daniel Pomarède

[Affiliations](#) | [Contributions](#) | [Corresponding author](#)

Nature 513, 71–73 (04 September 2014) | doi:10.1038/nature13674

Received: 07 April 2014 | Accepted: 07 July 2014 | Published online: 03 September 2014



Focus.it

ACCEDI

ABBONATI



[HOME](#) | [SCIENZA](#) | [SPAZIO](#)

Laniakea, la nostra casa nell'Universo

La Via Lattea, il suo gruppo di galassie e altri 13 gruppi - miliardi e miliardi di stelle - formano Laniakea, l'Immenso Paradiso. E precipitano verso il Grande Attrattore. Ecco la nuova mappa dell'Universo.



Nuova definizione del “Super-ammasso Locale” (basata sulla misura delle velocità peculiari)

COMA

SHAPLEY

Tully et al. 2014

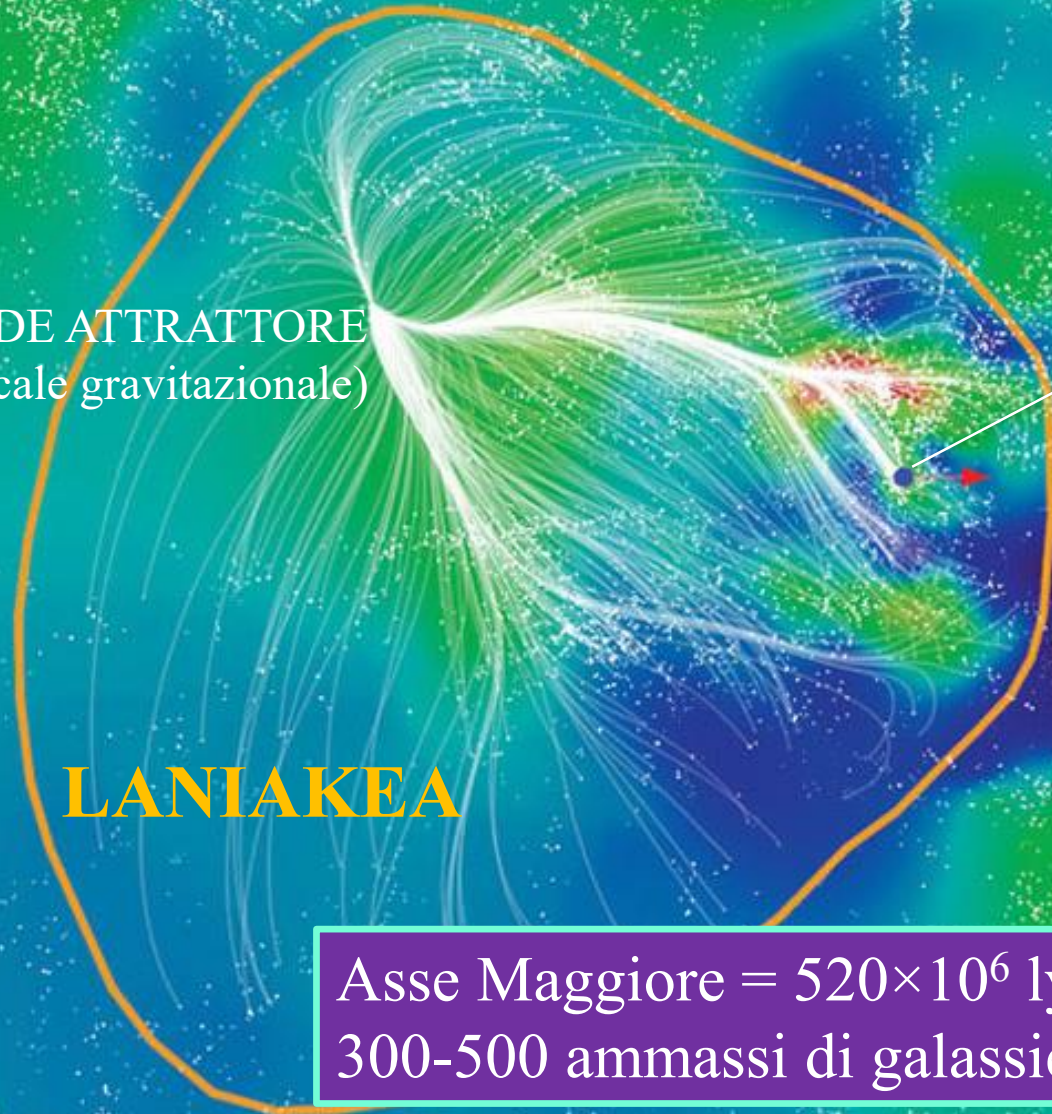
Il GRANDE ATTRATTORE
(punto focale gravitazionale)

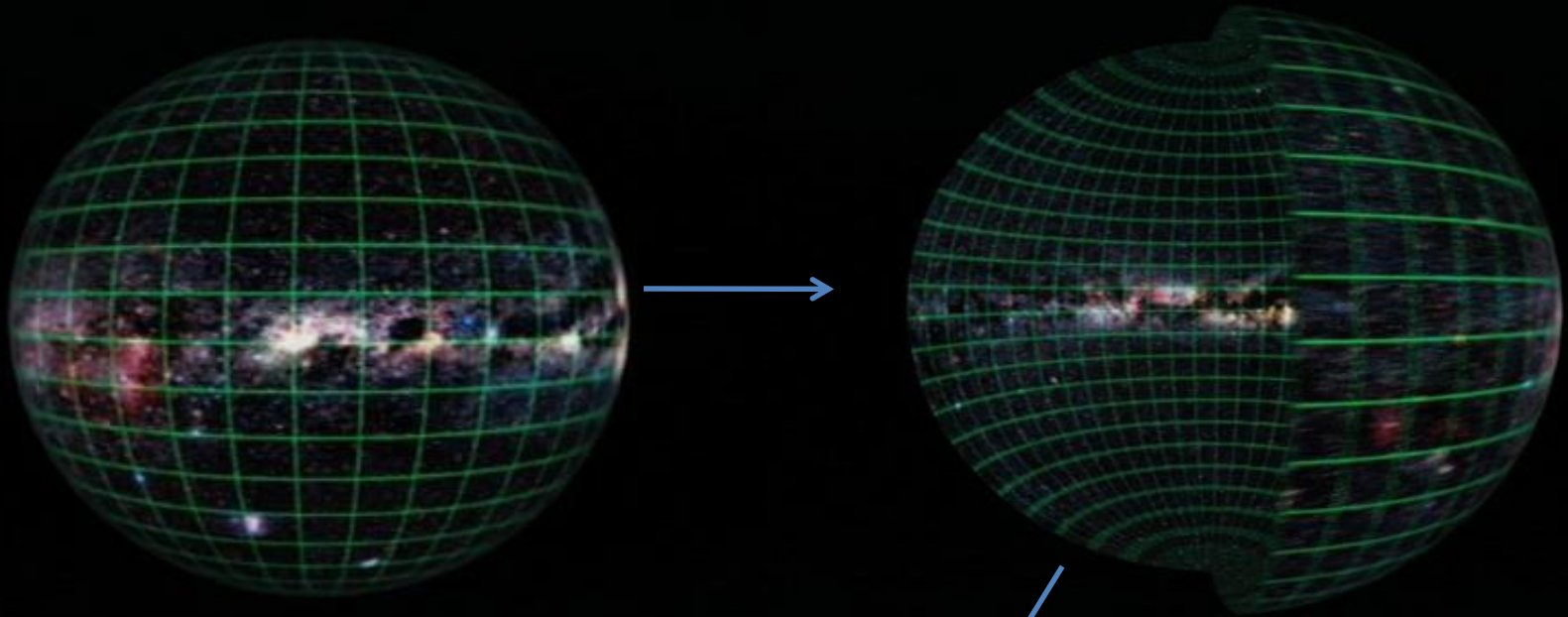
VIA LATTEA
(al bordo di questa
struttura enorme)

PERSEUS-PISCES

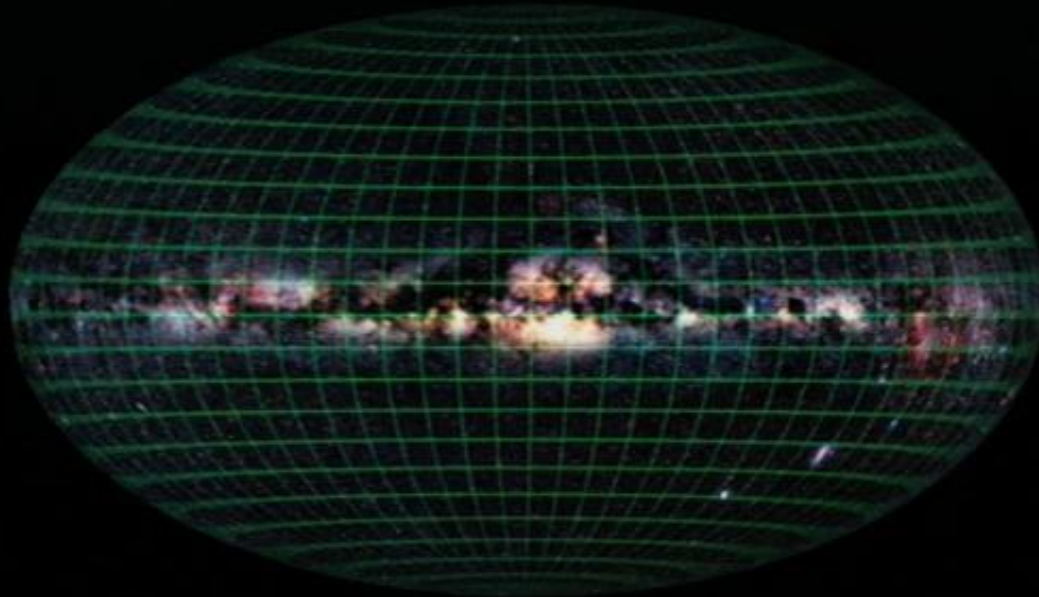
LANIAKEA

Asse Maggiore = 520×10^6 ly (159 Mpc)
300-500 ammassi di galassie (2MASS survey)

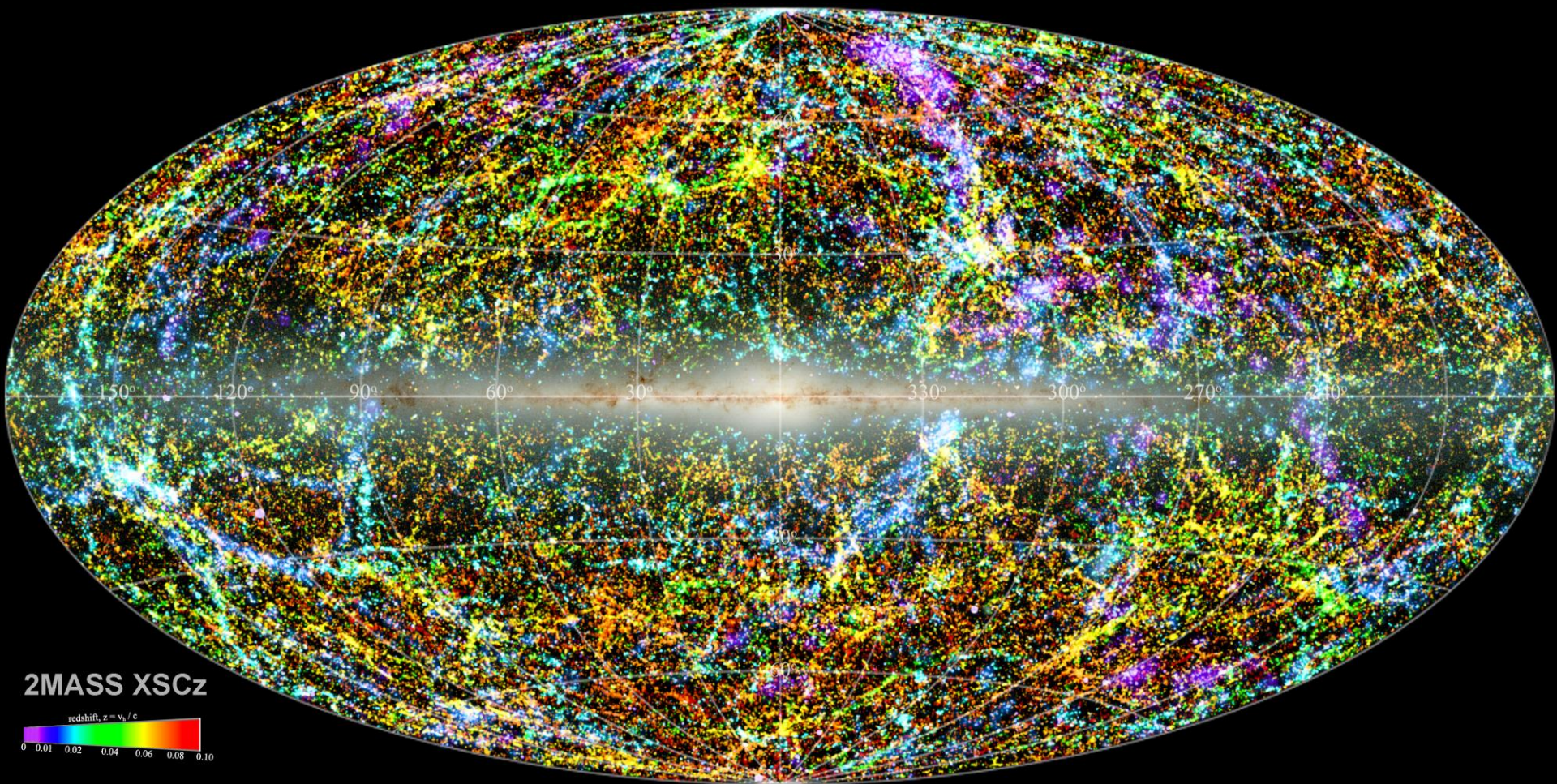




“Srotoliamo” la Volta Celeste



Universo Locale ($D < 200$ Mpc)

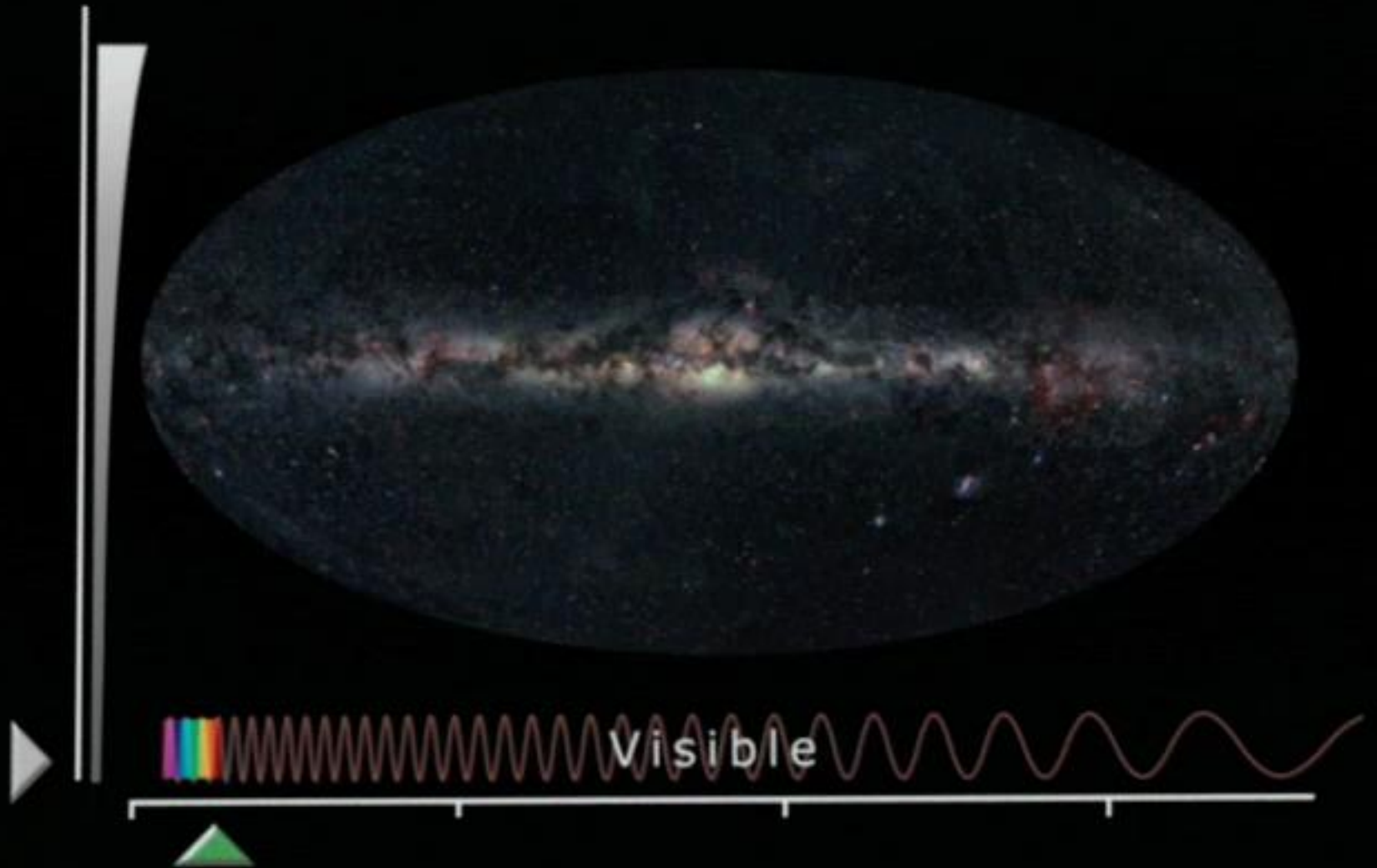


2MASS (2 Micron All Sky Survey):
osservate 1.6 milioni di galassie, rilevati centinaia (~500) di ammassi
(Mt Hopkins, Arizona, Cerro Tololo Cile, 1997-2001)

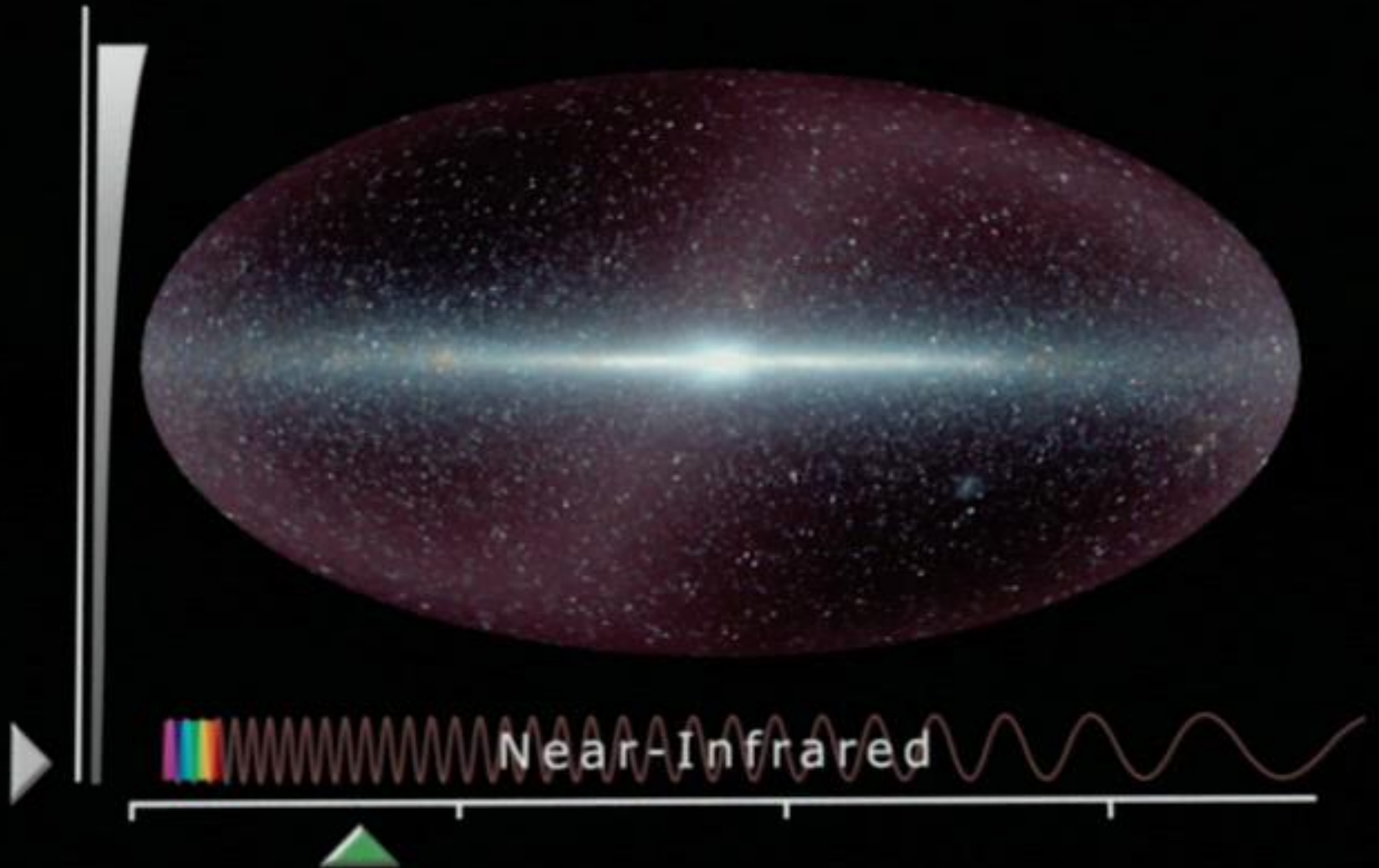
Qual'è l'origine di Laniakea
e di tutti
i super-ammassi che vediamo
nell'Universo vicino ?

Partiamo da una mappa del cielo

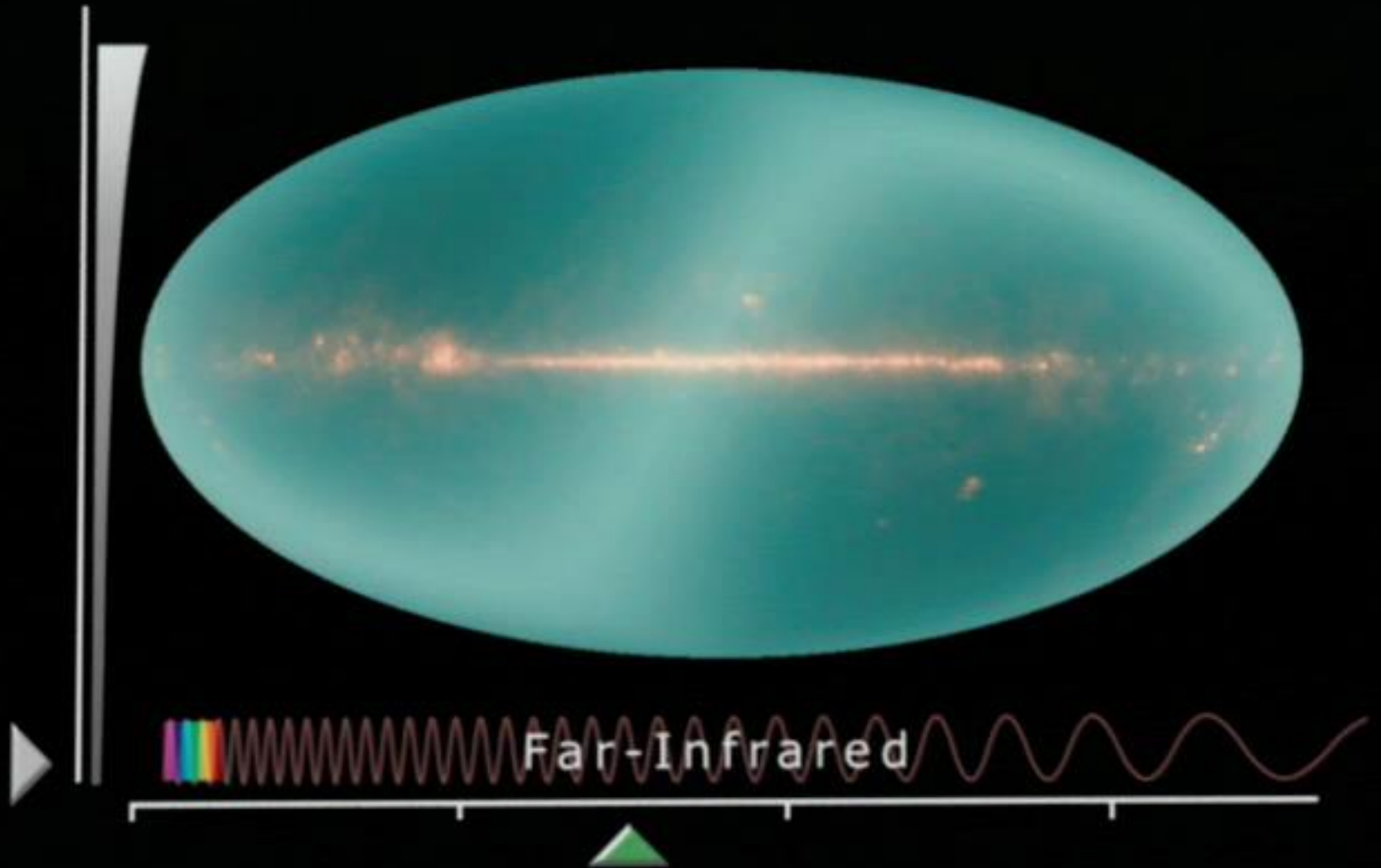
Mappa del cielo



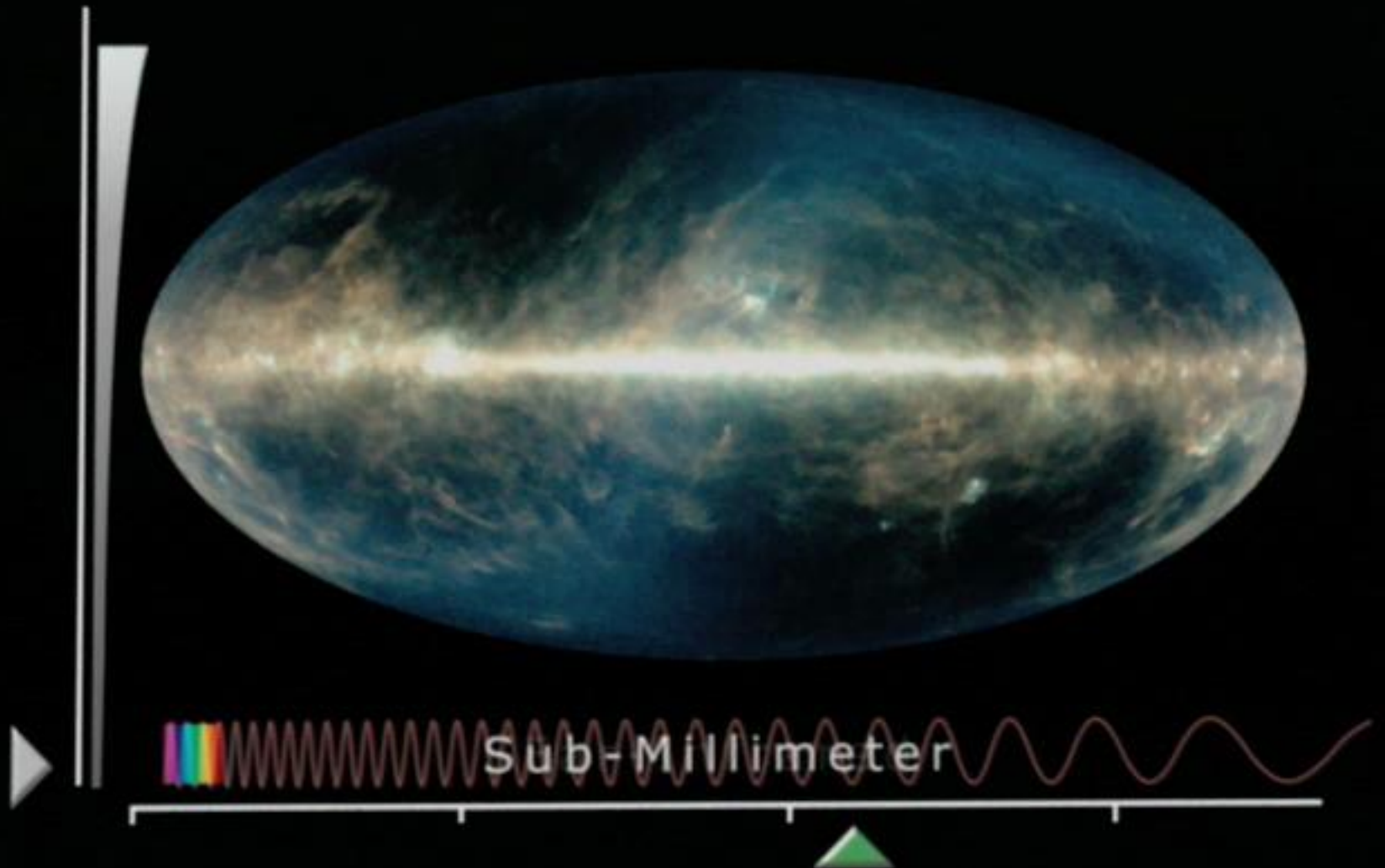
Mappa del cielo



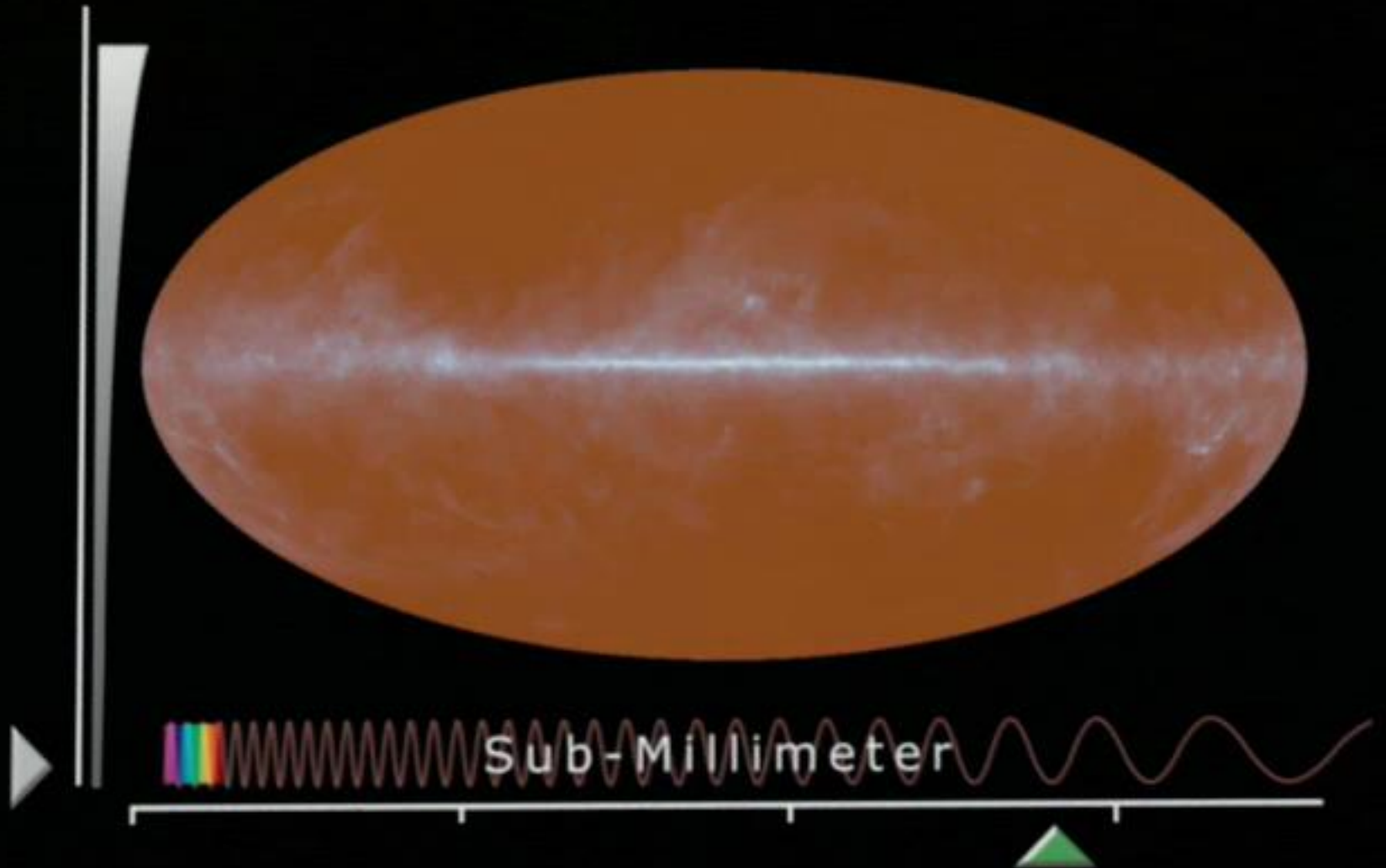
Mappa del cielo



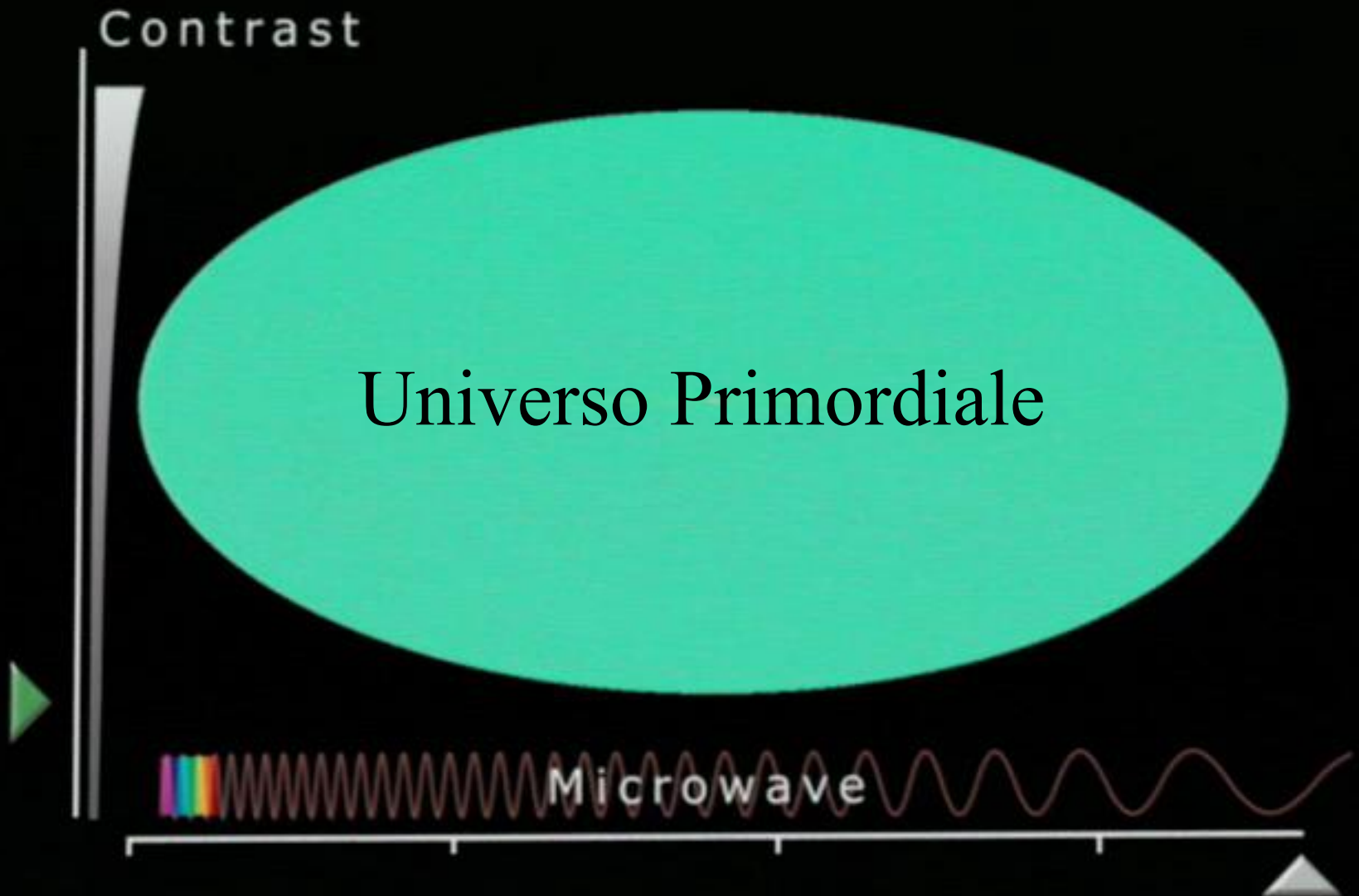
Mappa del cielo



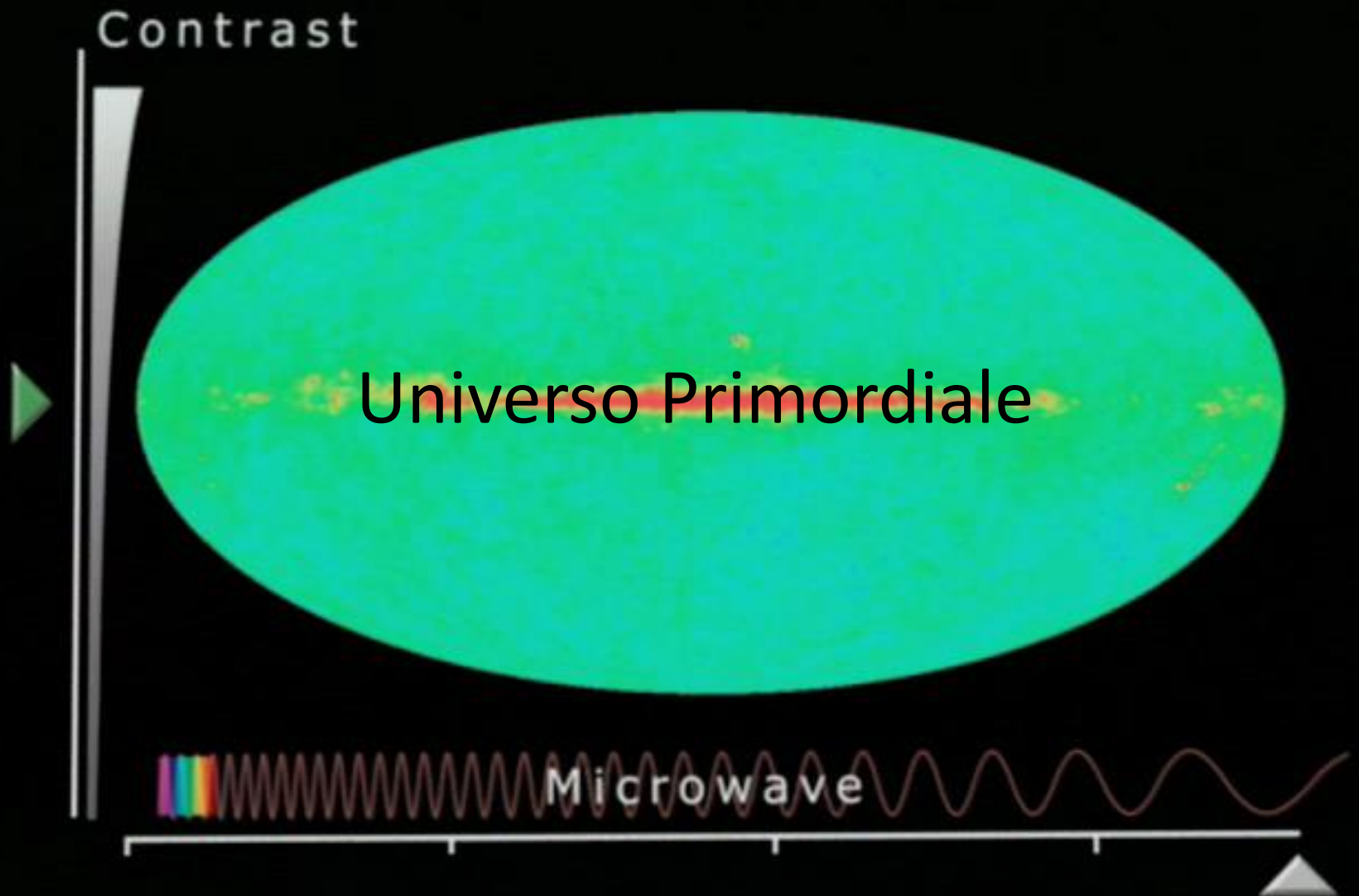
Mappa del cielo



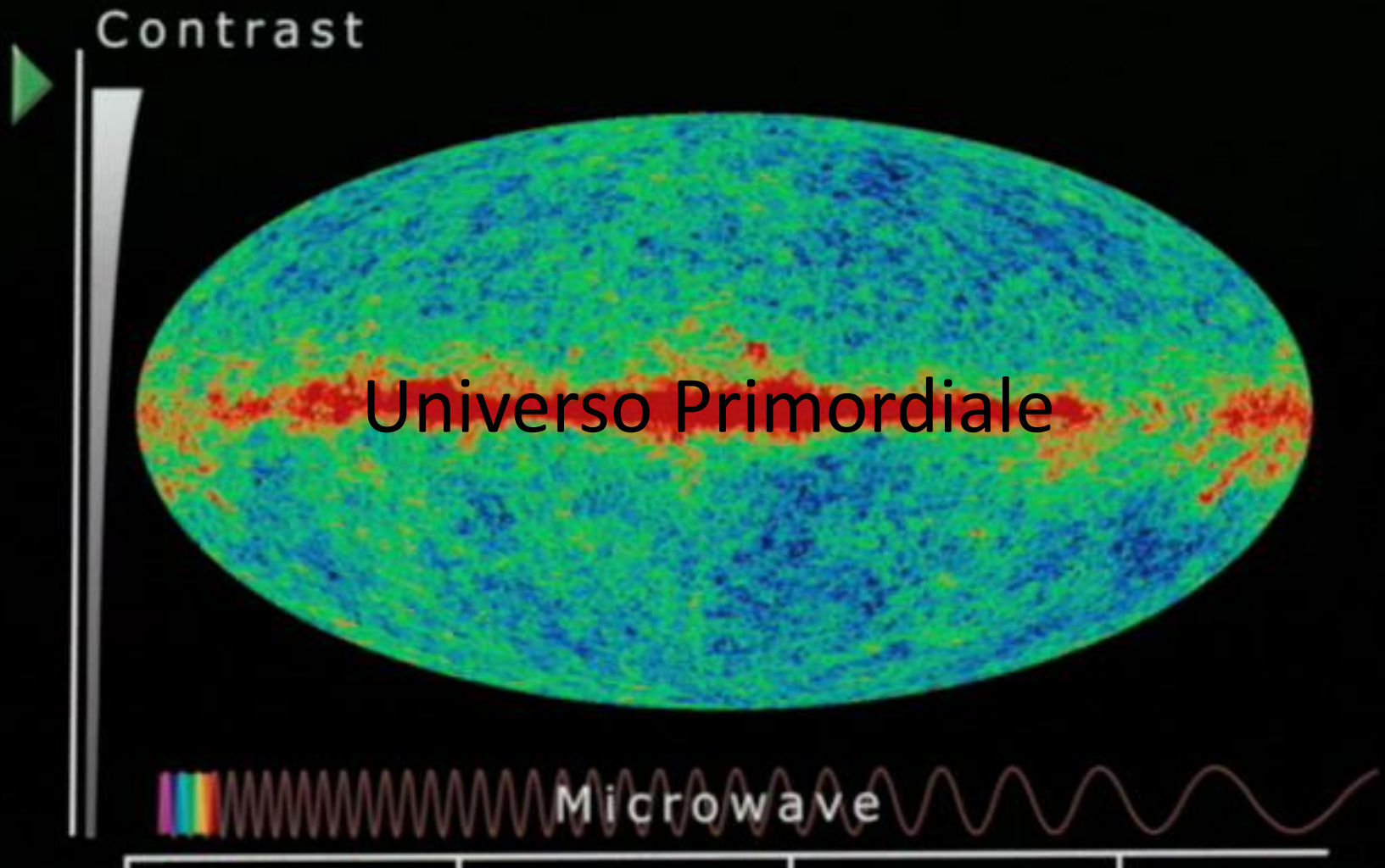
Radiazione di Fondo Cosmica (2.7K)



Radiazione di Fondo Cosmica (2.7K)

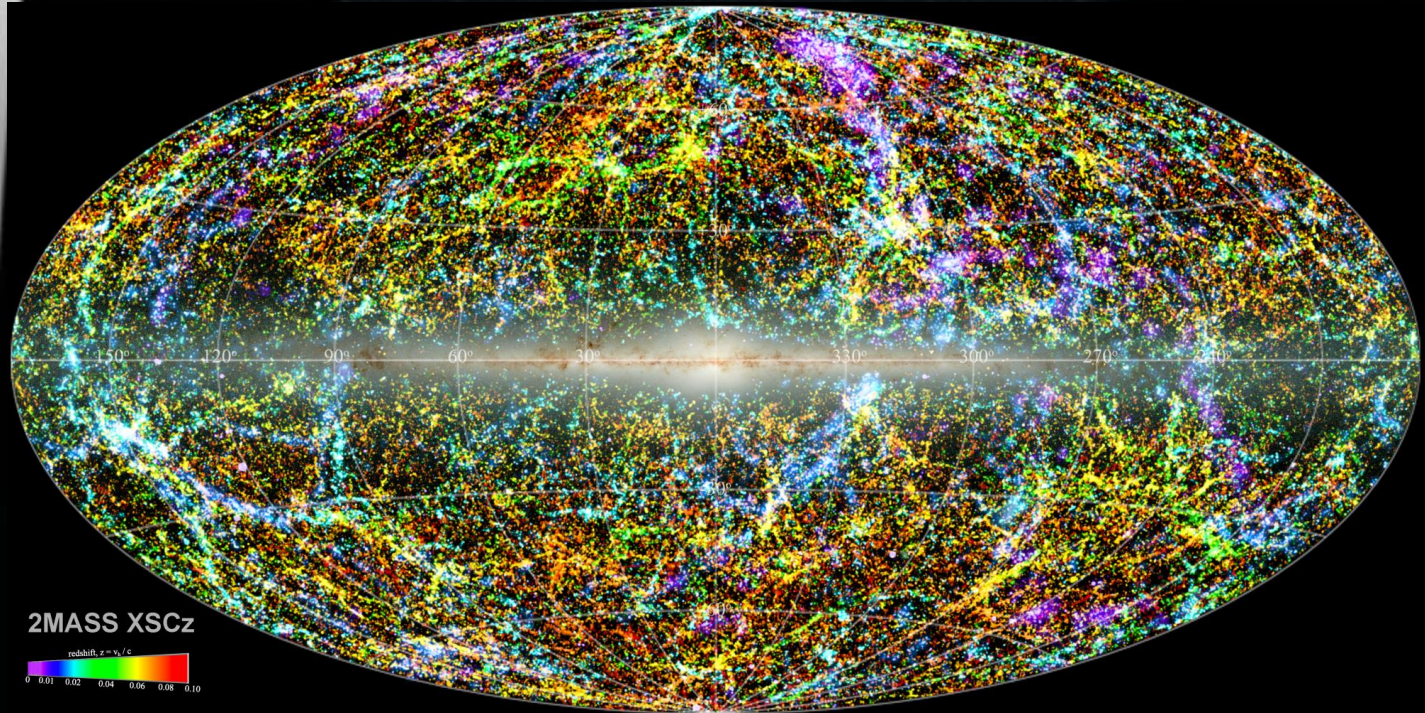


Radiazione di Fondo Cosmica (2.7K)



Aumentando il contrasto fino a 1 parte su 100 mila si iniziano a vedere le anisotropie del fondo a microonde da cui si sono formate le strutture cosmiche

Le variazioni della densita' locale oggi
sono maggiori di quelle primordiali
di molti ordini di grandezza!

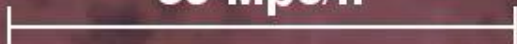


La sfida delle **Cosmologia moderna**:
comprendere come le PICCOLISSIME anisotropie del
fondo nelle microonde si sono potute trasformare
nelle ENORMI strutture odierne cosmologia moderna

$z = 20.0$

Simulazione della formazione della Struttura su Grande Scala

50 Mpc/h



Gli Ammassi di Galassie si formano nei NODI dei filamenti cosmici e sono le strutture piu' grandi nell'Universo tenute legate dalla forza di gravita'

125 Mpc/h

A visualization of the cosmic web, showing a dense network of filaments and nodes. The filaments are represented by thin, branching lines of purple and blue, while the nodes are represented by bright, yellowish-white clusters of light. A scale bar is visible in the upper center, indicating a distance of 125 Mpc/h.

DI COSA SONO FATTI GLI AMMASSI?

Ammasso di Galassie: nell'ottico

Galassie:

Fatte di stelle (gas/polvere).

Visibili nell'ottico

Telescopi a Terra e nello spazio



KECK-USA: 2 da 10 metri



VLT-ESO: 4 da 8 metri

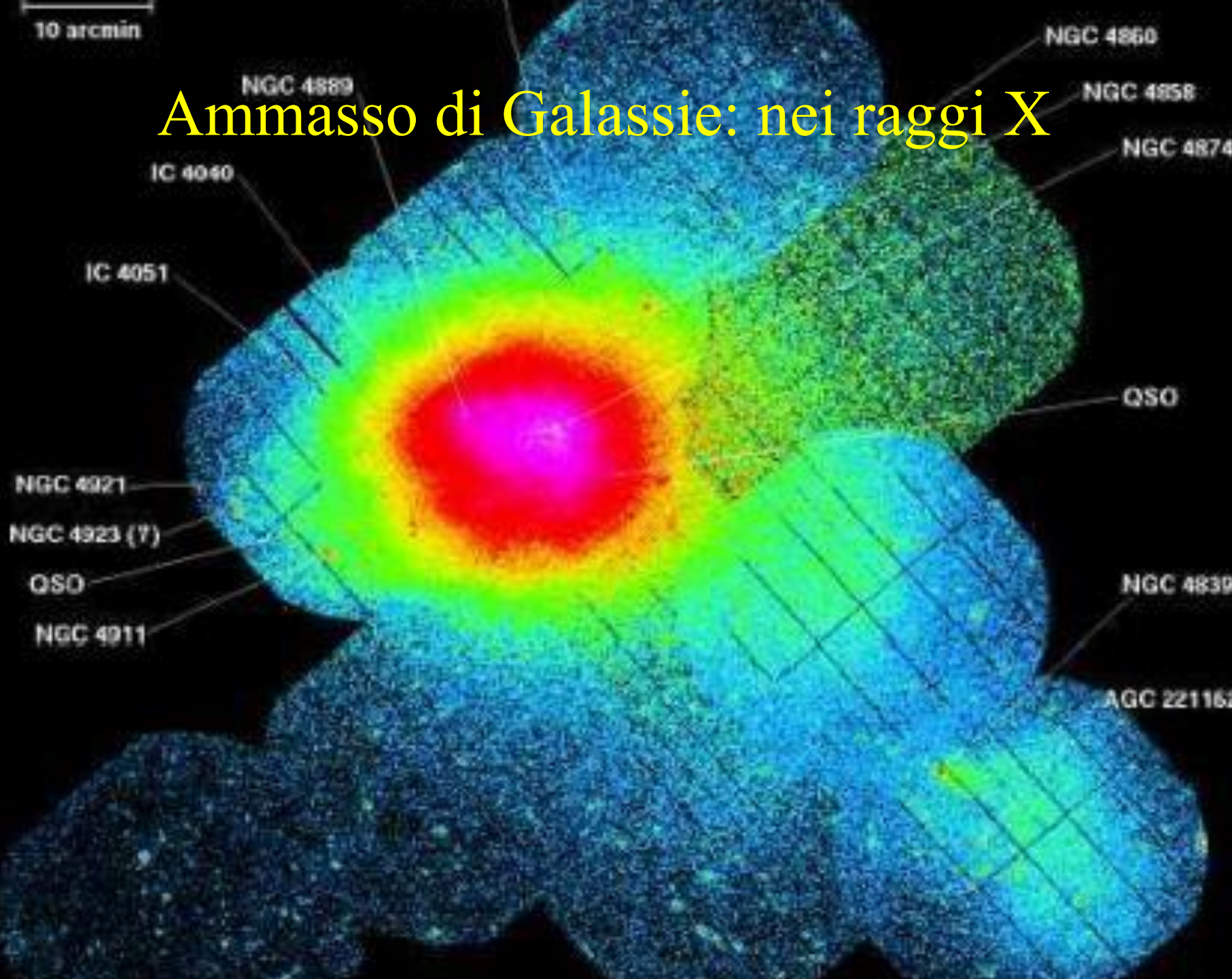
Hubble Space Telescope



Ammasso di Galassie: nell'ottico



Ammasso di Galassie: nei raggi X



10 arcmin

NGC 4889

NGC 4860

NGC 4858

NGC 4874

IC 4040

IC 4051

QSO

NGC 4921

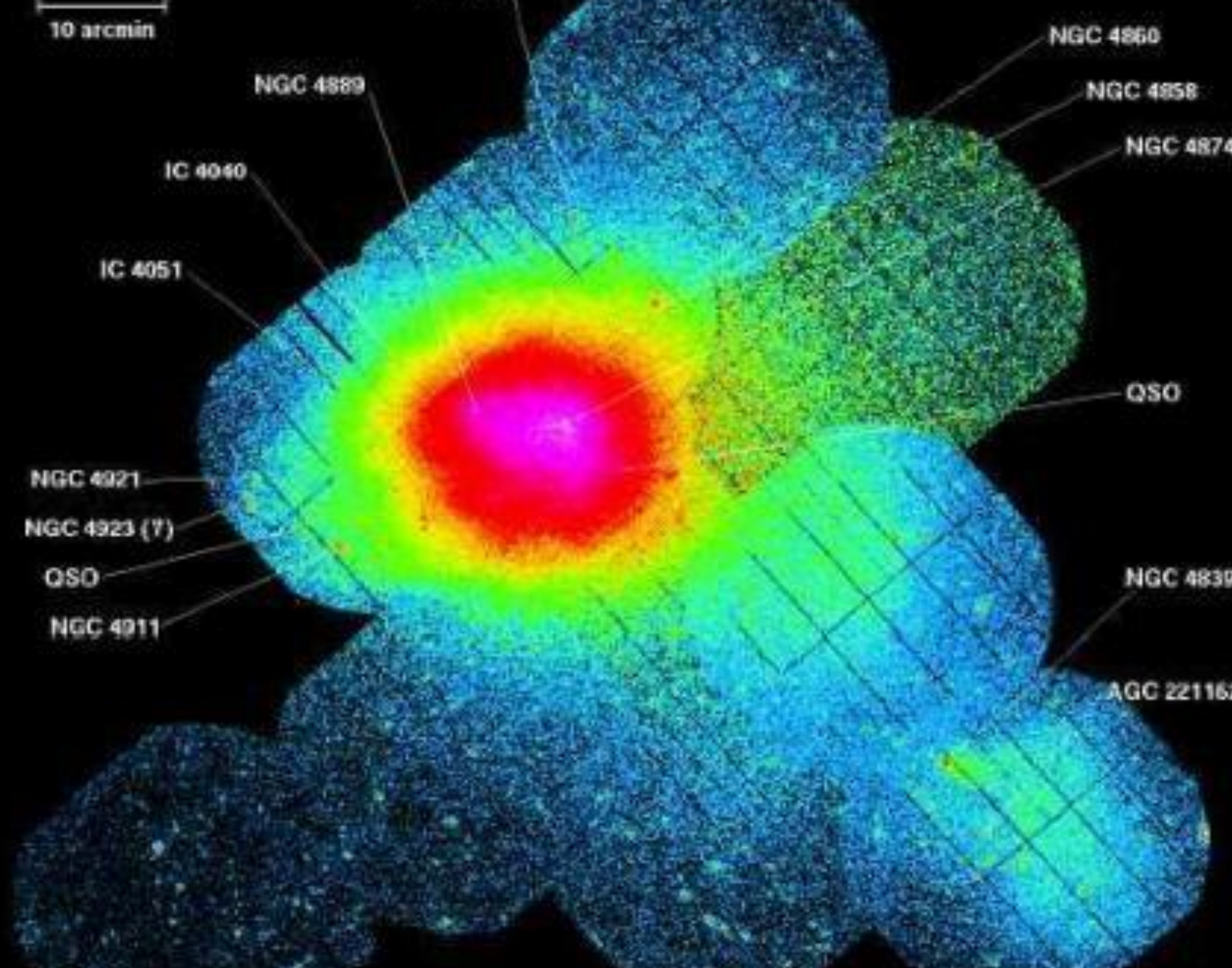
NGC 4923 (7)

QSO

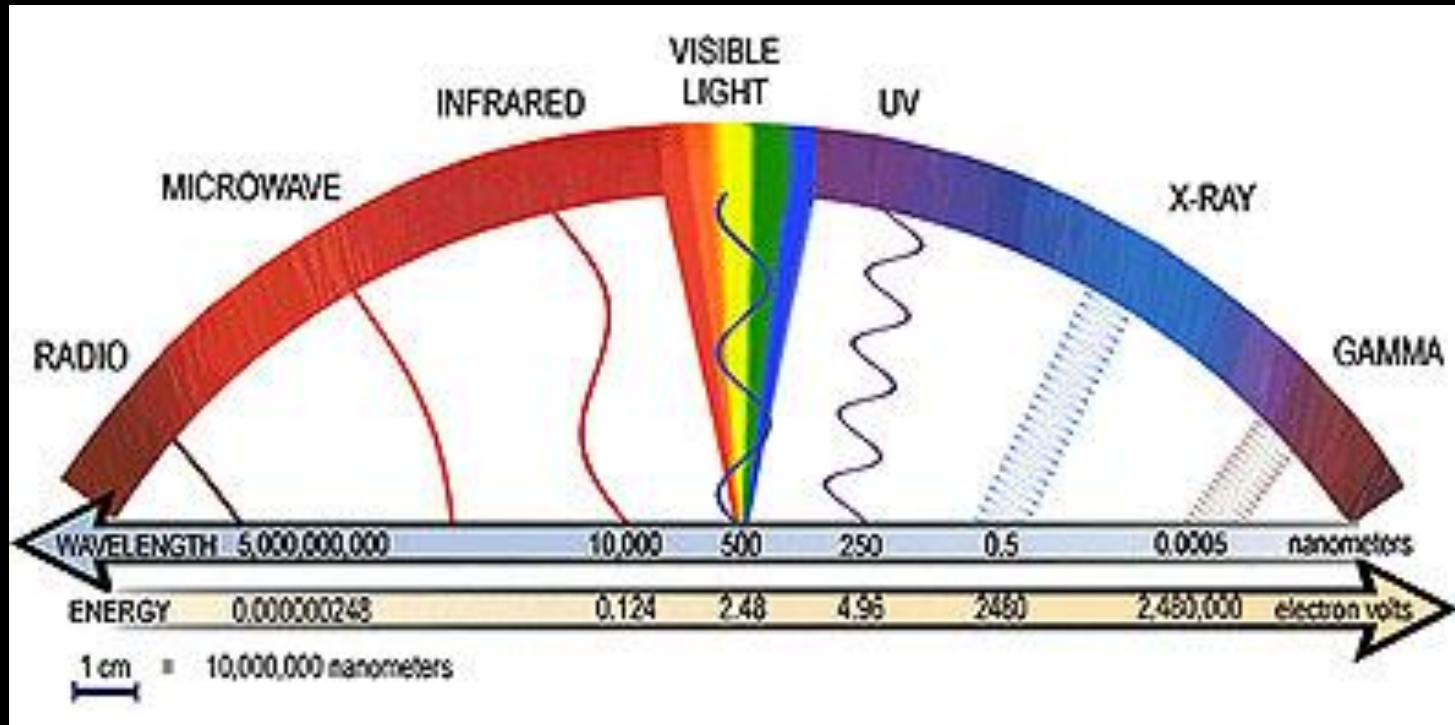
NGC 4911

NGC 4839

AGC 221162

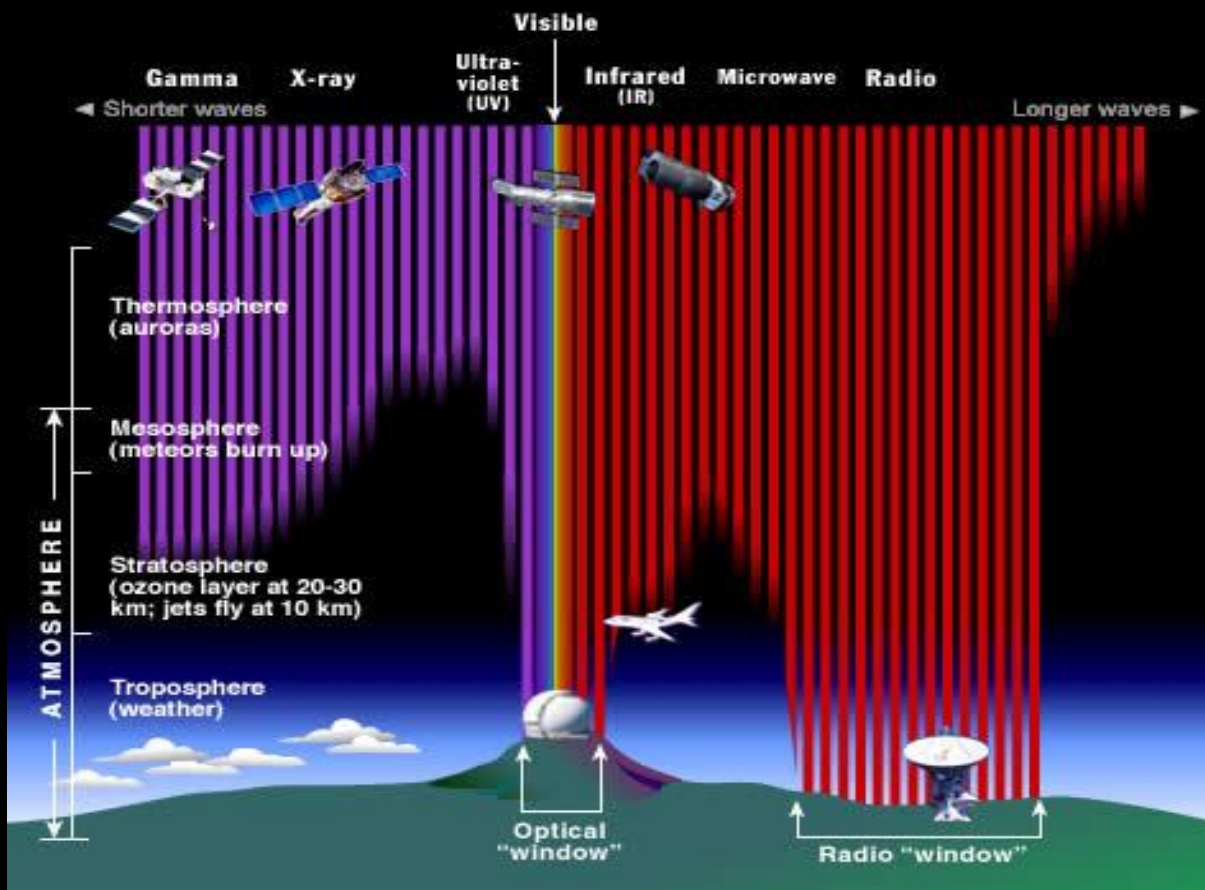


Prima: fu la luce
e poi, tutto il resto dello spettro elettromagnetico



In Astrofisica si usano le informazioni contenute in
tutte le energie dello spettro elettromagnetico

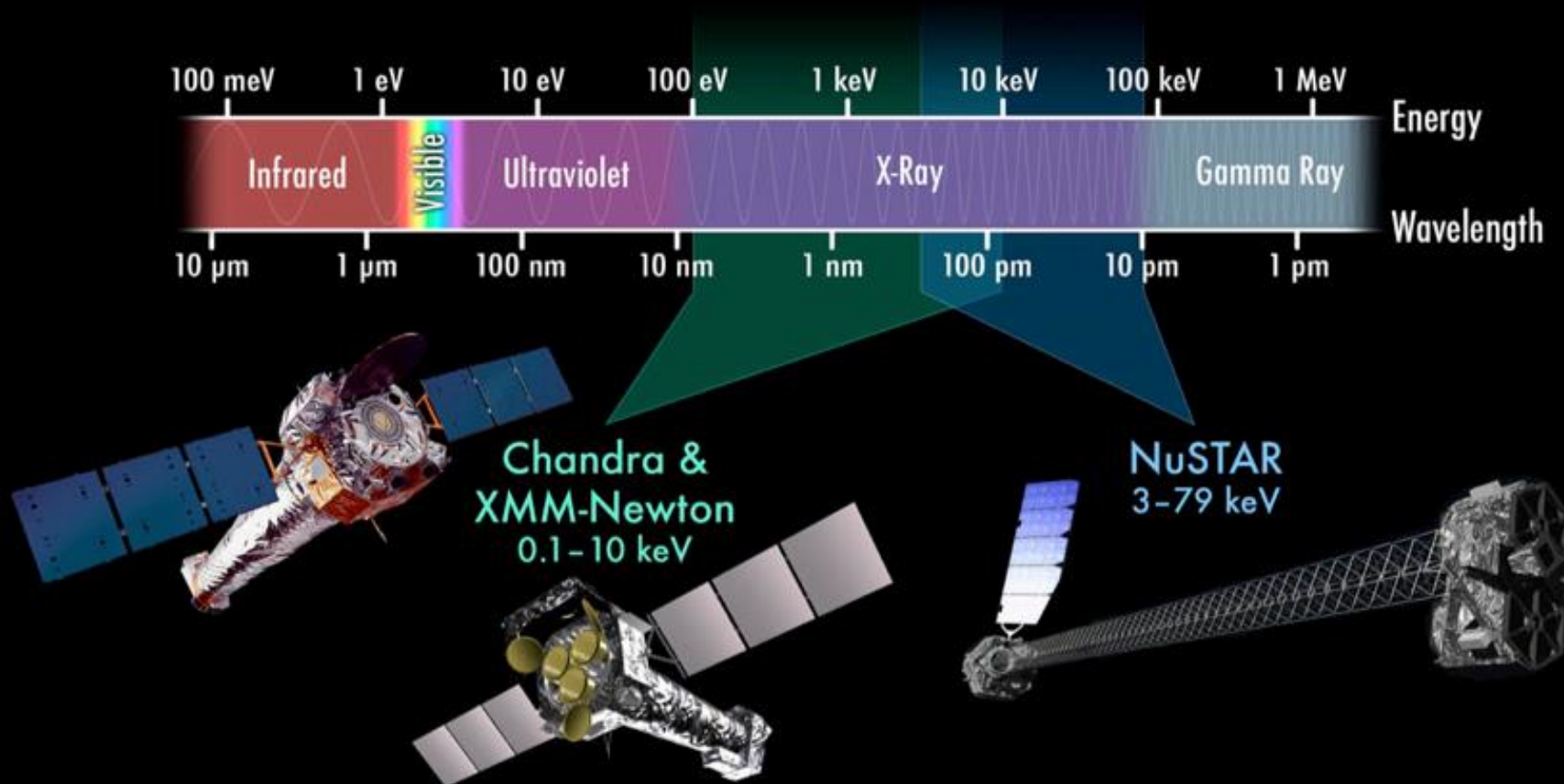
Astronomia X: l'assorbimento atmosferico



Data di nascita dell'astronomia in banda X: 1962
con la scoperta della prima sorgente X (Scorpio X-1)
Premio Nobel per la Fisica: 2002 a R. Giacconi

Astronomia X: oggi

X-Ray Telescopes & the Electromagnetic Spectrum



Dal 1999, 2 grandi telescopi: XMM-Newton (ESA) e Chandra (NASA).
Altri piccoli telescopi: ~~Suzaku (JAXA)~~, NuSTAR (NASA)

Chandra (X-ray)

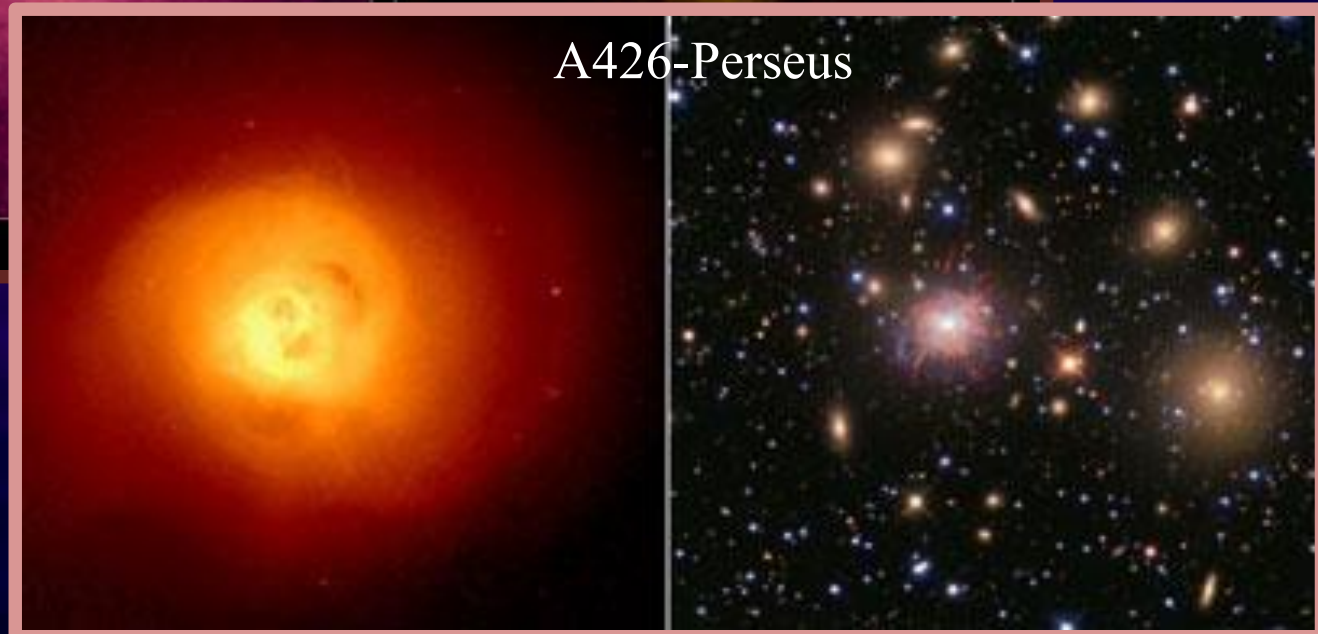
A2199

DSS (Optical)

redshift, z

A2029

A426-Perseus



10 arcmin

NGC 4889

NGC 4860

NGC 4858

NGC 4874

IC 4040

QSO

IC 4051

NGC 4921

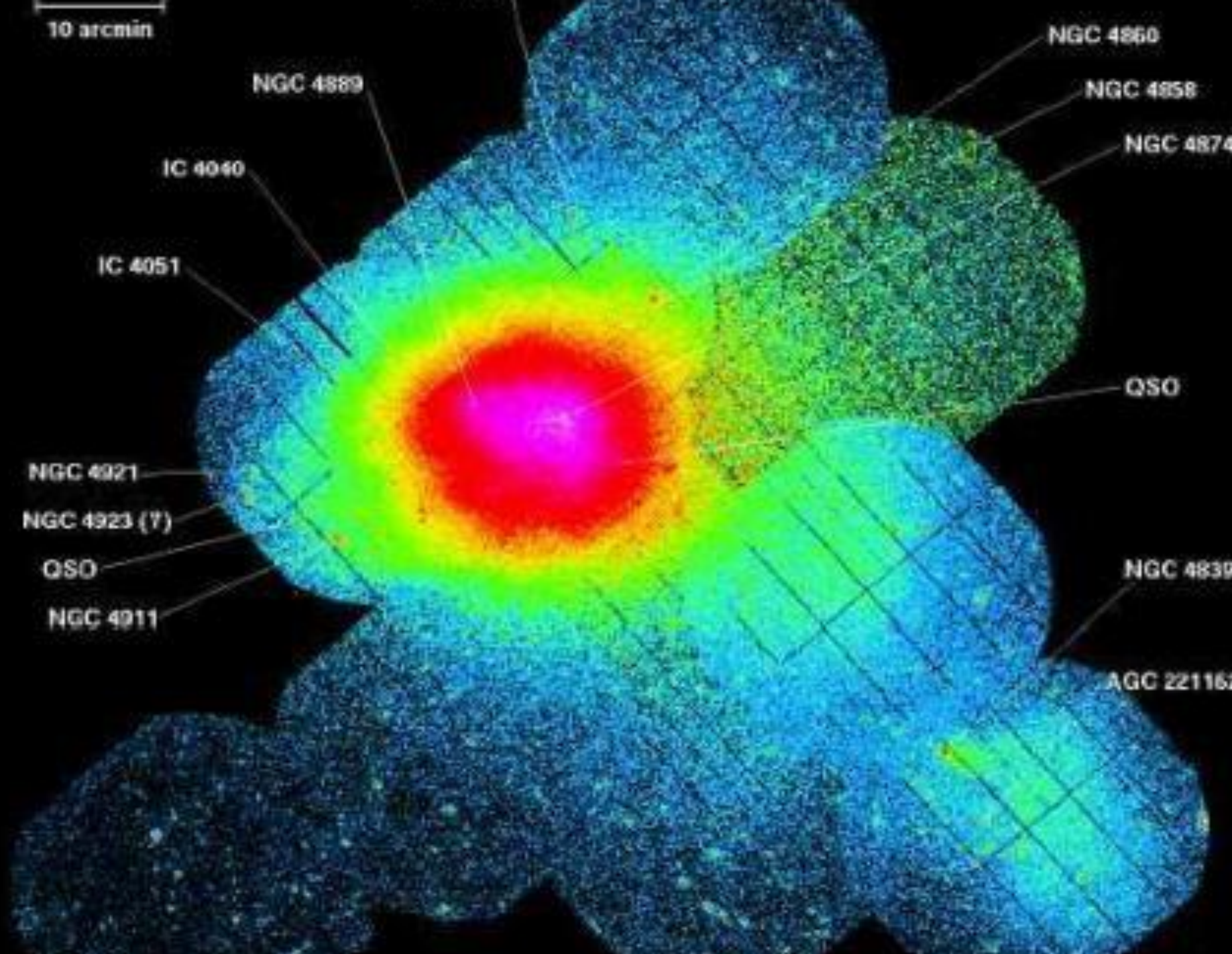
NGC 4923 (7)

QSO

NGC 4911

NGC 4839

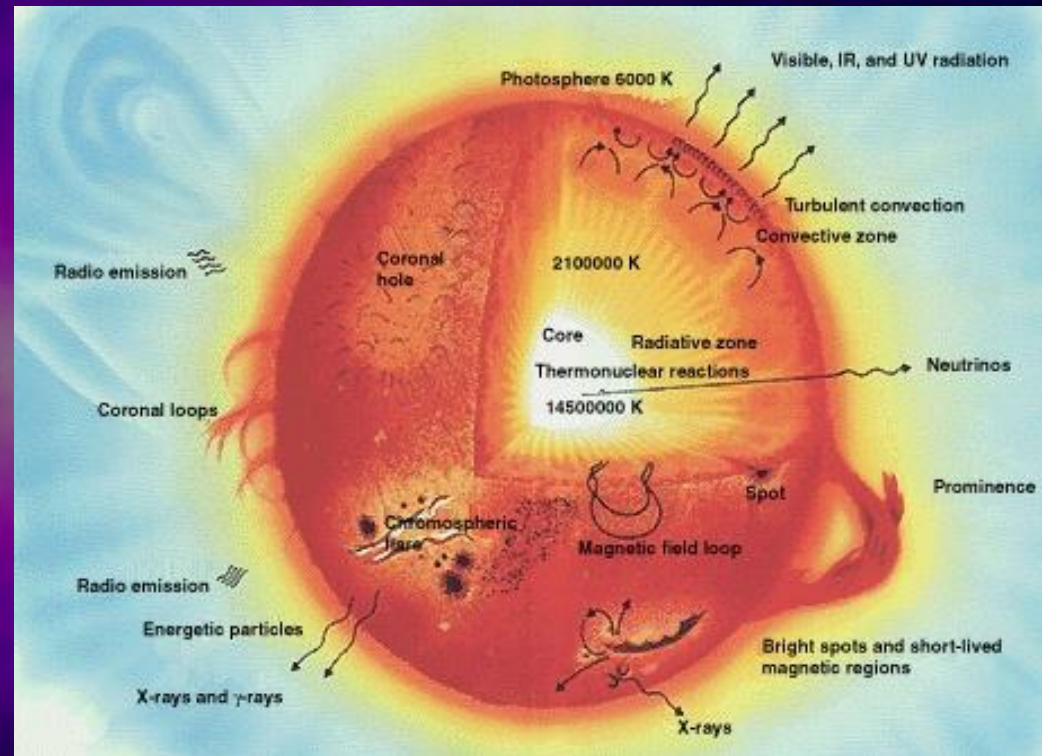
AGC 221162



Proprieta' del Gas X degli ammassi:

CALDISSIMO:

T=10-100 milioni di gradi



Proprieta' del Gas X degli ammassi:

CALDISSIMO:

$T=10-100$ milioni di gradi

TENUISSIMO:

densita' 0.1 atomi/cm^3



Migliori Pompa a vuoto 100 atomi/cm^3

Proprieta' del Gas X degli ammassi:

TEMPERATURA:

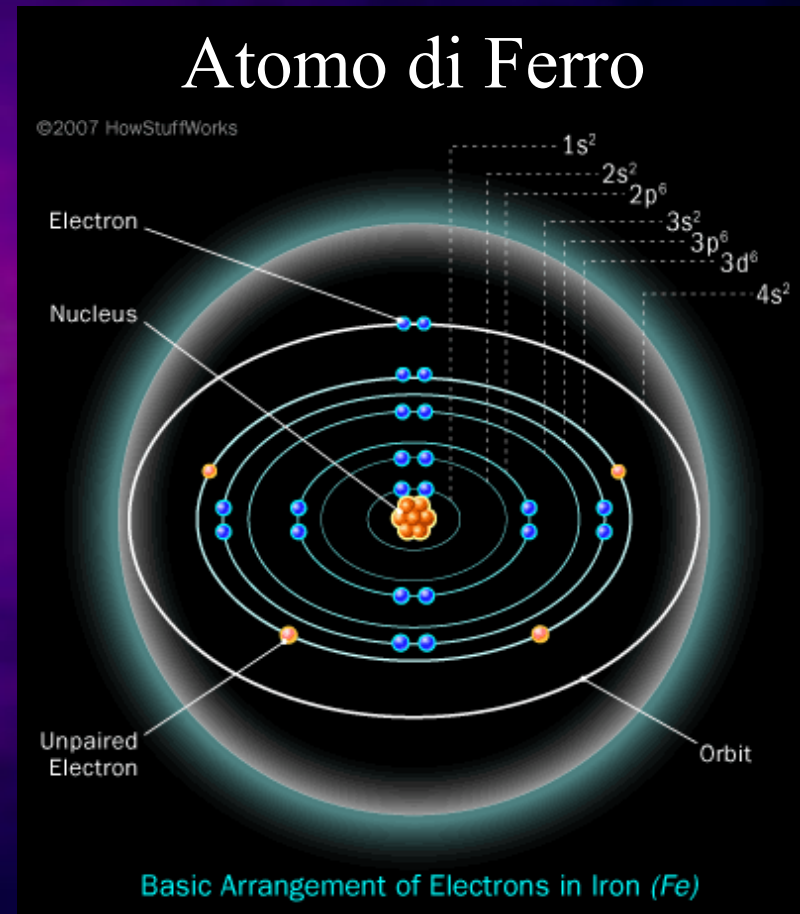
10-100 milioni di gradi

DENSITA':

0.1 atomi/cm³

COMPOSIZIONE CHIMICA:

H, He con tracce di altri elementi non primordiali, es. Fe, Si, O, S,....

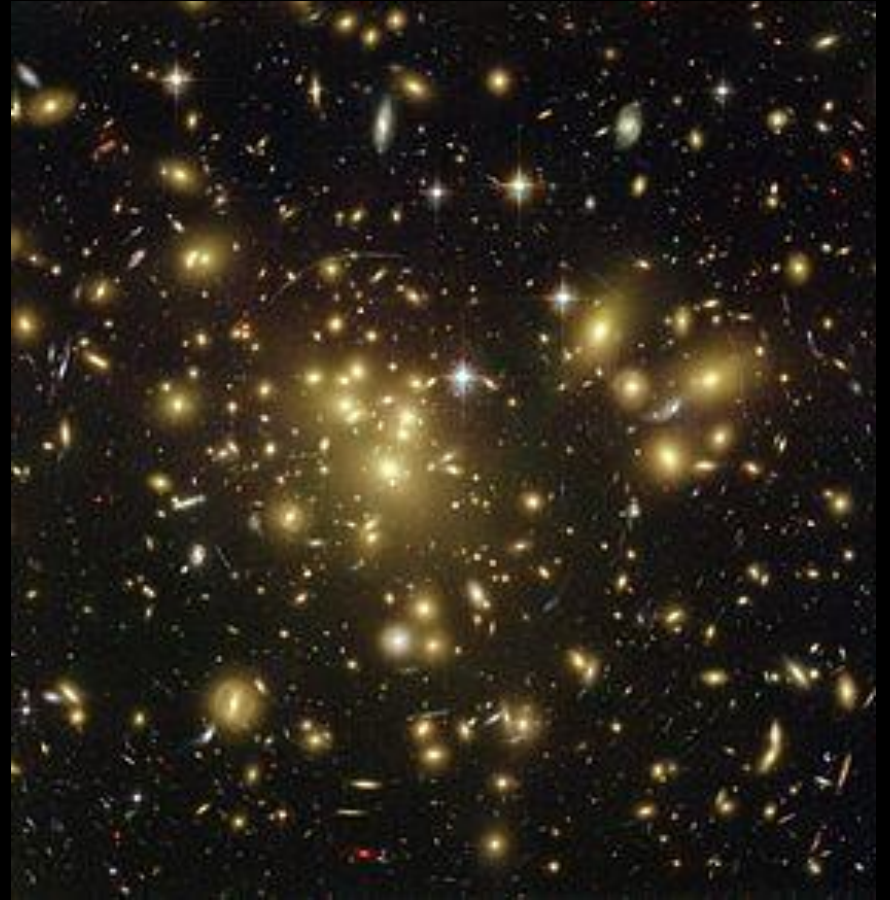


La composizione chimica del Gas X ci dice che:

- Il gas e' stato processato nelle stelle (unica fornace nota)
- Gli elementi sono stati prodotti da esplosioni di SN nelle galassie dell'ammasso
- Devono esistere dei meccanismi di trasporto degli elementi chimici dalle galassie al gas caldo X
- Meccanismi: venti stellari dalle galassie prodotti da SN, forze mareali/interazioni tra galassie, pressione d'ariete... (esistono osservazioni di questi fenomeni)

Di cosa sono fatti gli ammassi?

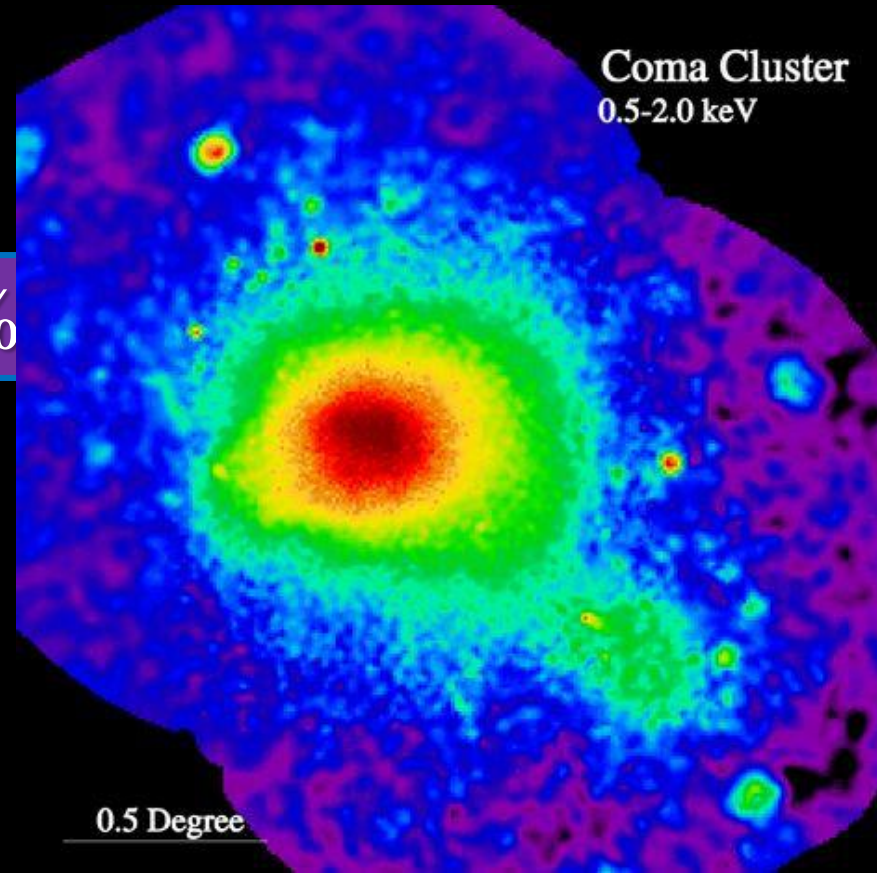
Massa Galassie $\sim 3\%$



Di cosa sono fatti gli ammassi?

Massa Galassie $\sim 3\%$

Gas intergalattico $\sim 15\%$



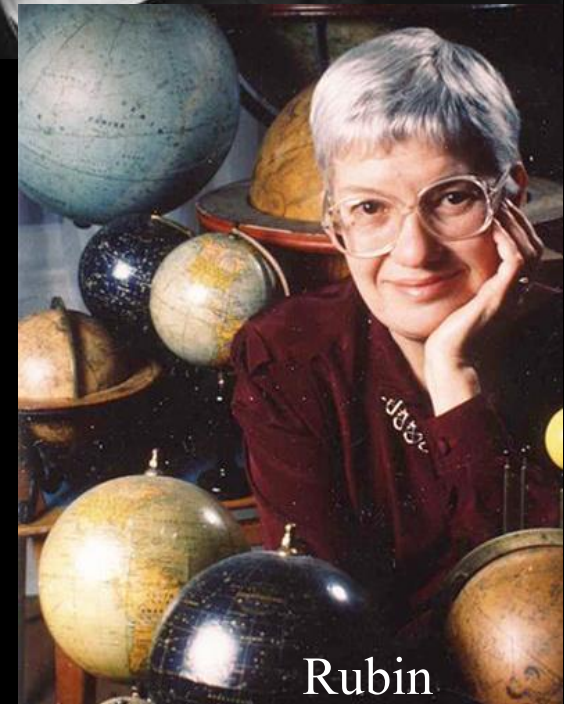
Di cosa sono fatti gli ammassi?

Massa Galassie $\sim 3\%$

Gas intergalattico $\sim 15\%$

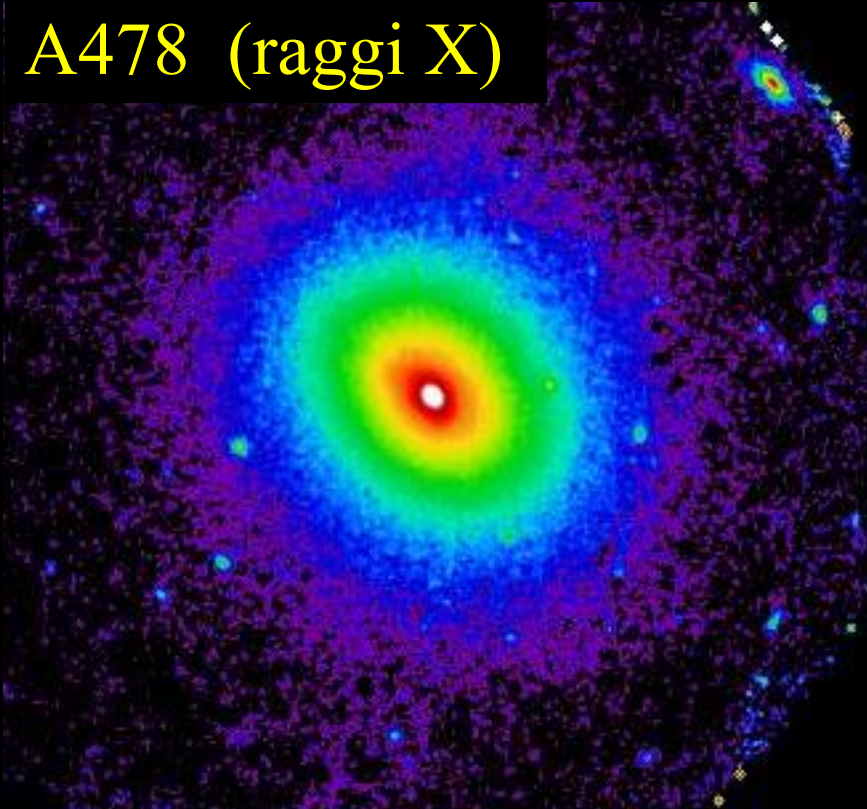
Materia Oscura $\sim 82\%$

$$\frac{M}{L} \sim 100-400 \frac{M_{\odot}}{L_{\odot}}$$



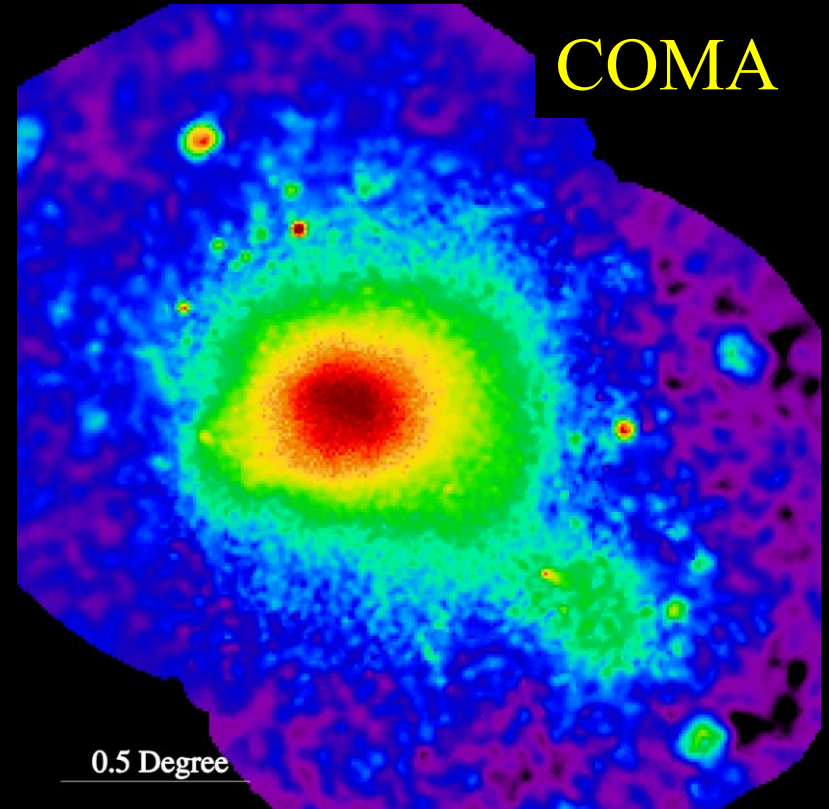
Ammassi di Galassie : 2 grandi famiglie

A478 (raggi X)



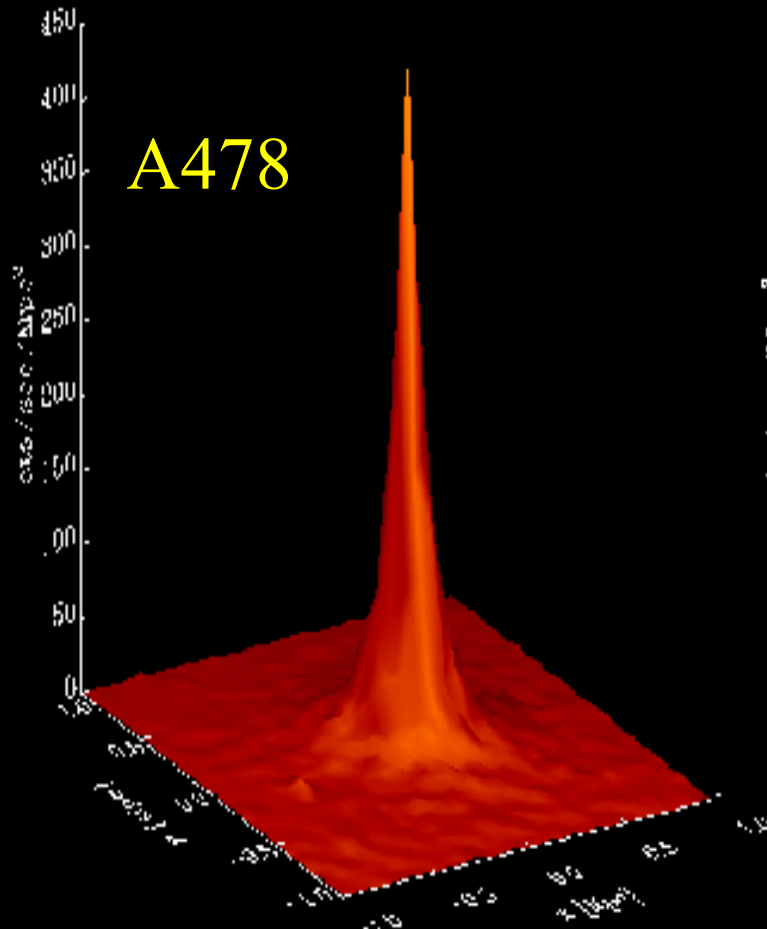
“Rilassati”

COMA

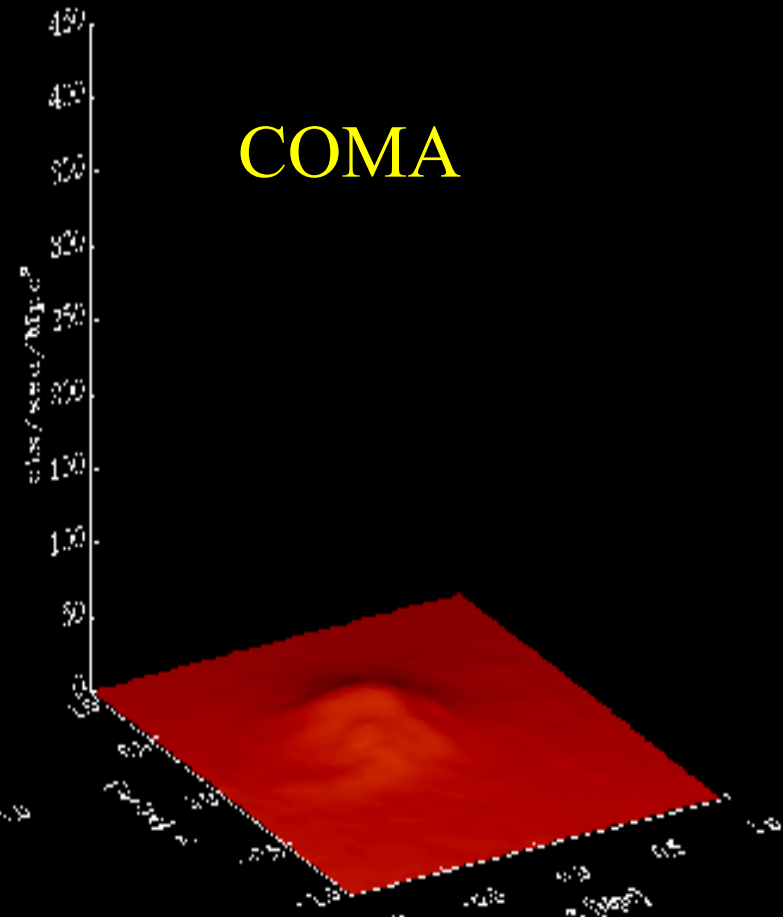


“non-Rilassati”

Ammassi di Galassie : 2 grandi famiglie

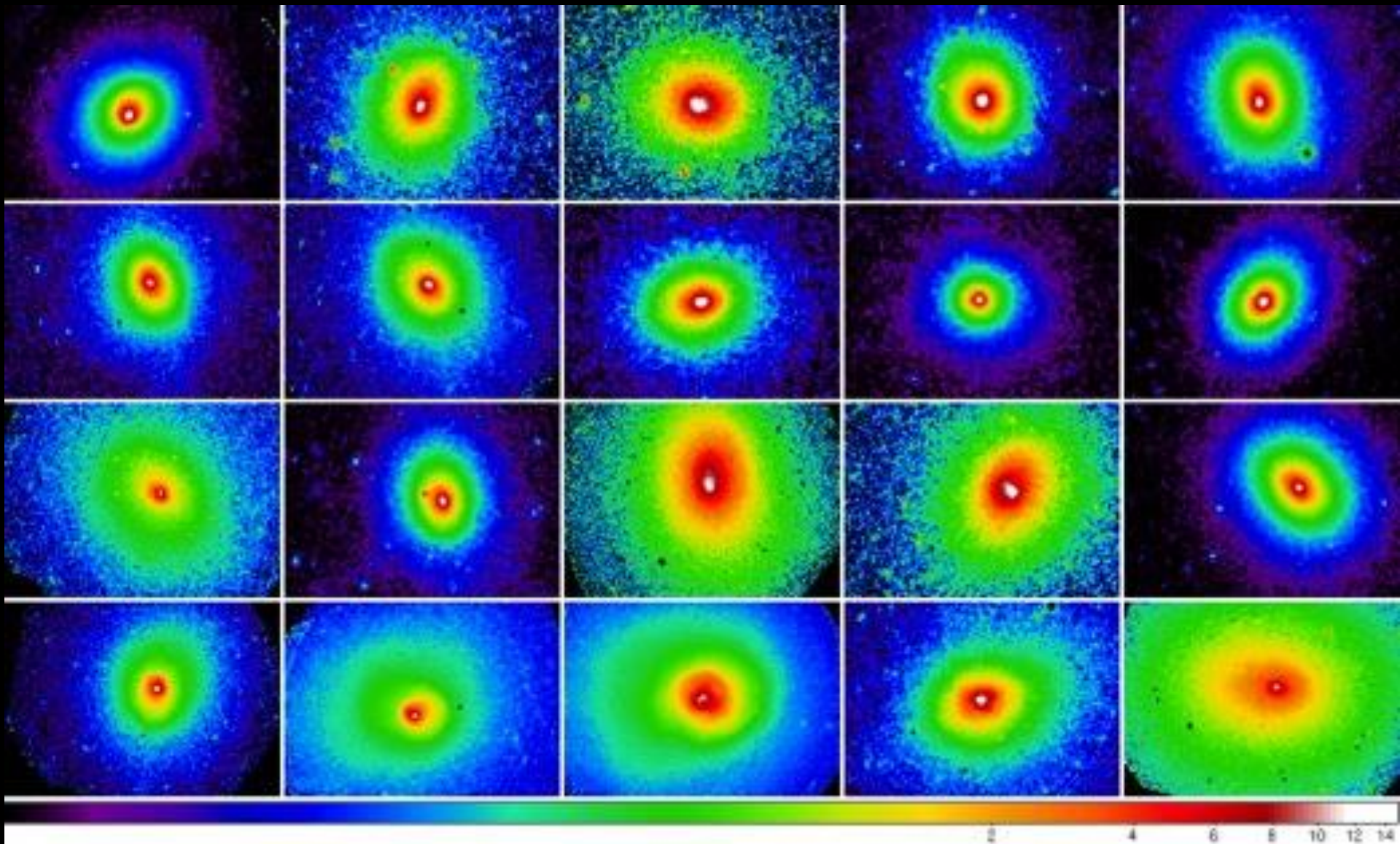


“Rilassati”

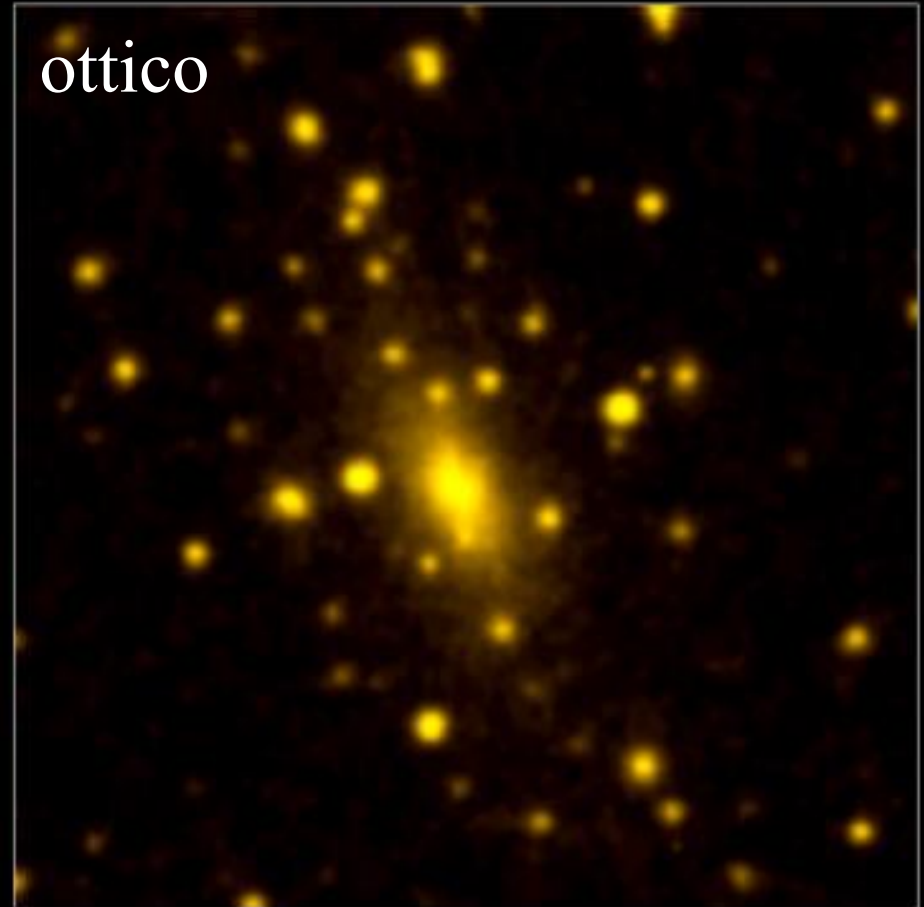
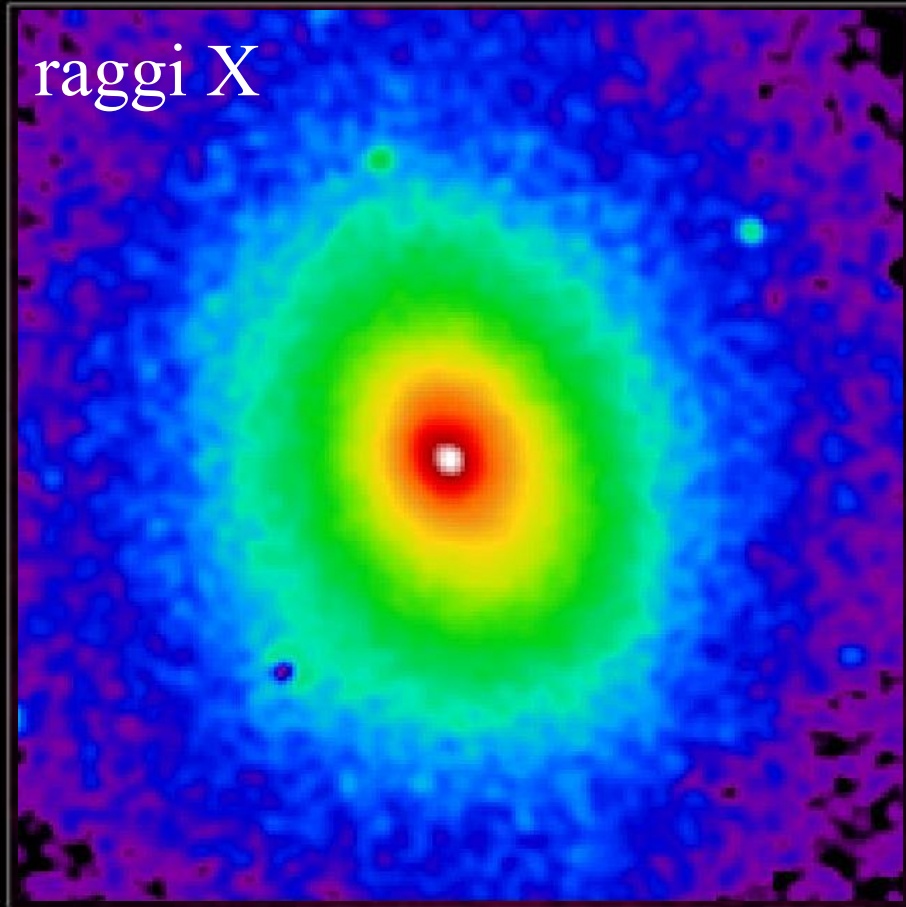


“non-Rilassati”

Gli Ammassi di Galassie “Rilassati”



Gli Ammassi di Galassie “Rilassati”



Abell 2029 – Galassia Centrale IC1101 (alone 6 milioni di al!)

Gli Ammassi “rilassati” hanno (sempre)
una galassia Ellittica gigante nel centro.

BCG di Abell S740



M87 – BCG dell'Ammasso della Vergine



NGC4696 –
BCG dell'Ammasso del Centauro



NGC 1275 – BCG dell'Ammasso del Perseo



Come si formano le Galassie Centrali?

Un caso di “cannibalismo” galattico



Come si formano le Galassie Centrali?

Un caso di “cannibalismo” galattico

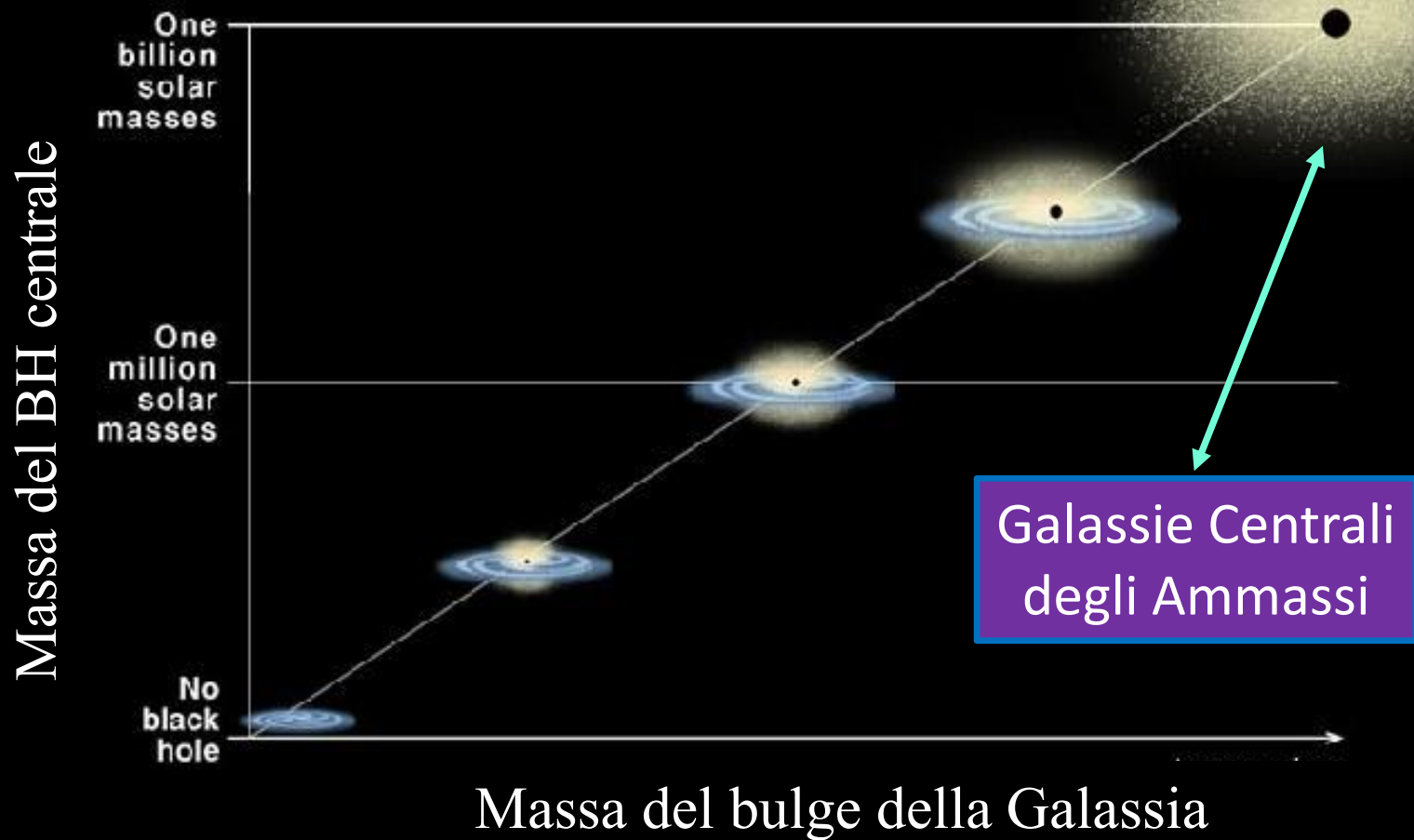
Sono le Galassie più luminose e massive dell'Universo

Hanno aloni stellari estesissimi (milioni di anni-luce)

Sono diverse dalle altre Galassie Ellittiche

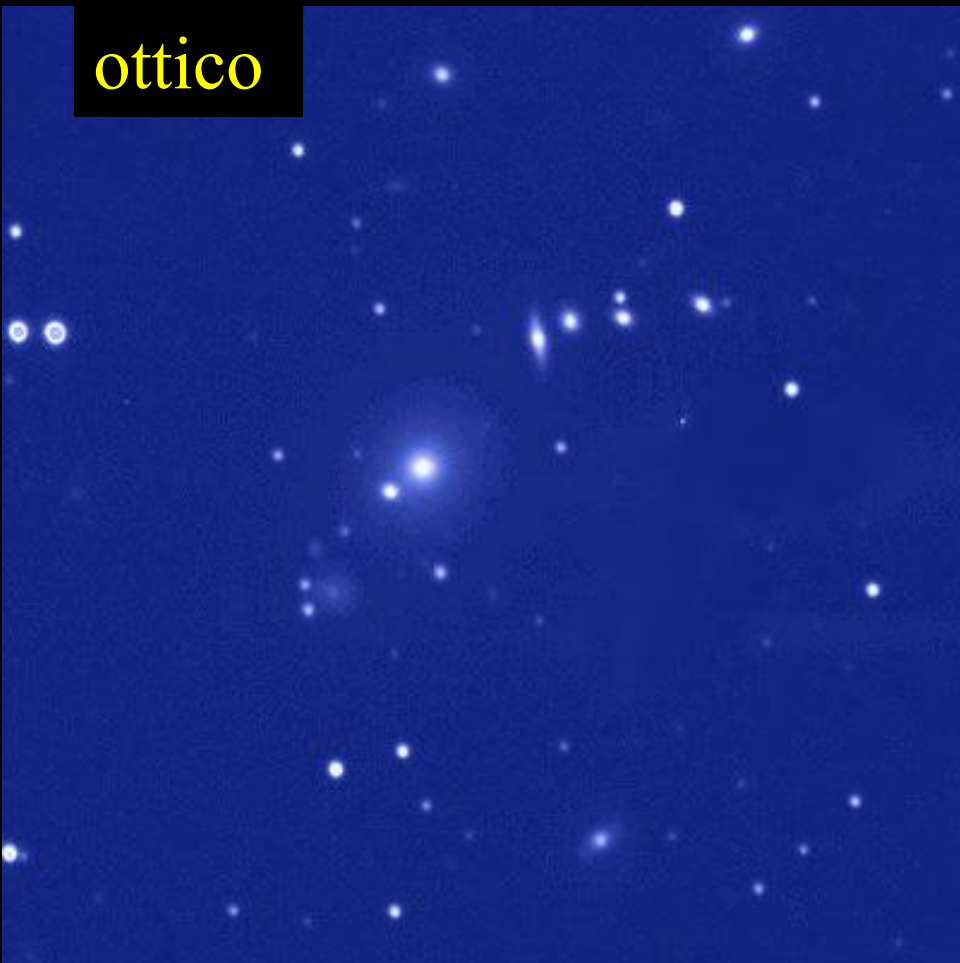
- hanno ancora tracce di formazione stellare
- si trovano solo al centro degli ammassi
- sono complesse (nuclei multipli, polvere, aloni..)

... contengono i SMBH piu' grandi

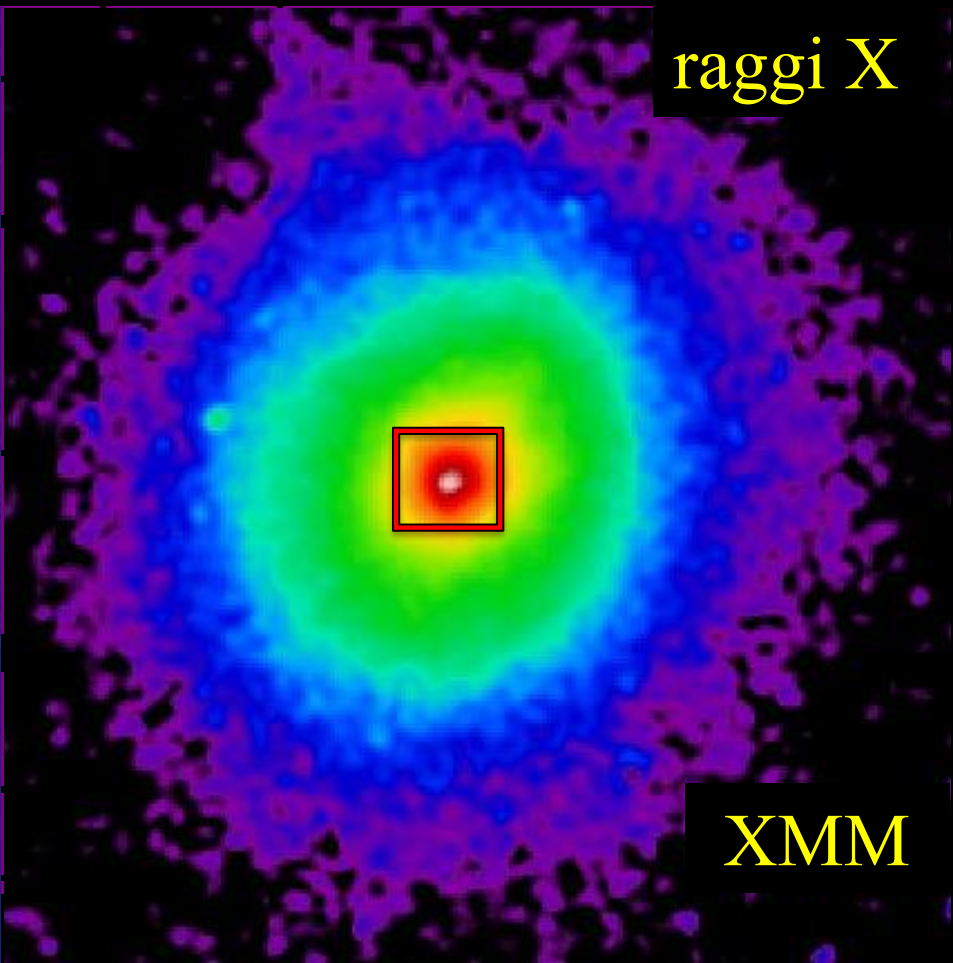


Hydra A: un ammasso “Rilassato”

ottico



raggi X



XMM

Cavita' nel gas caldo (osservato in X)



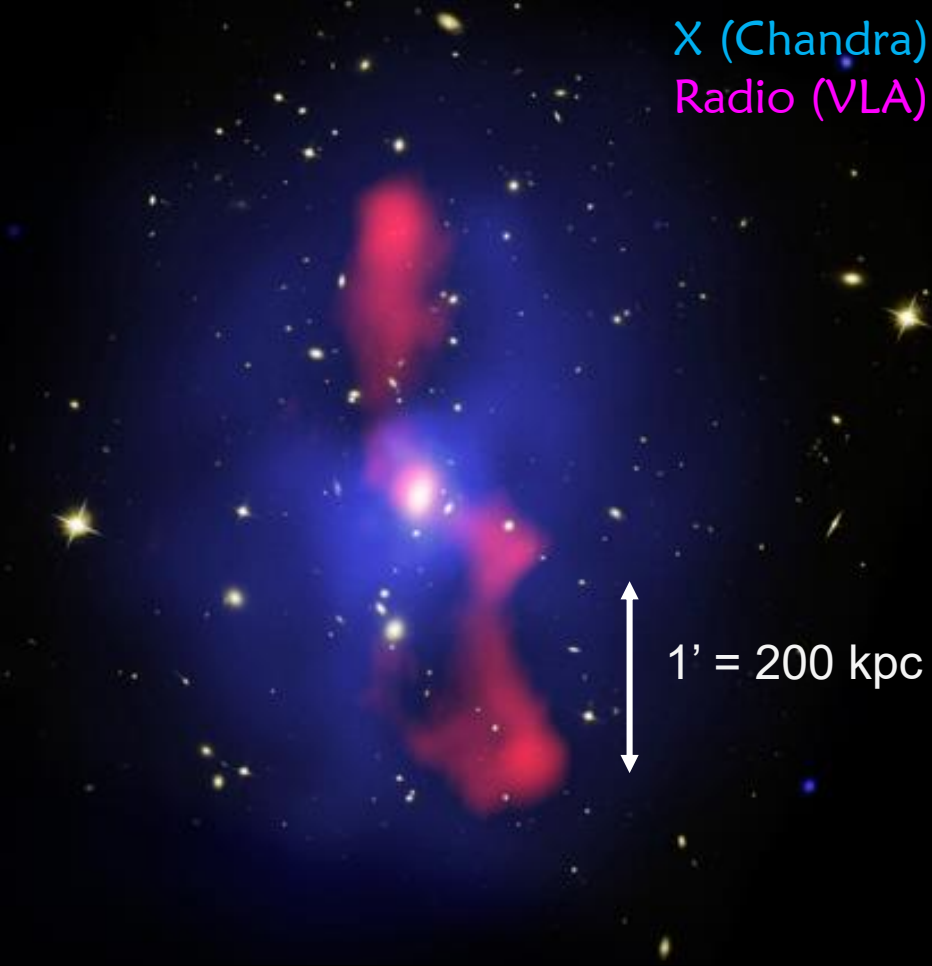
Hydra-A
Chandra raggi X (blu)



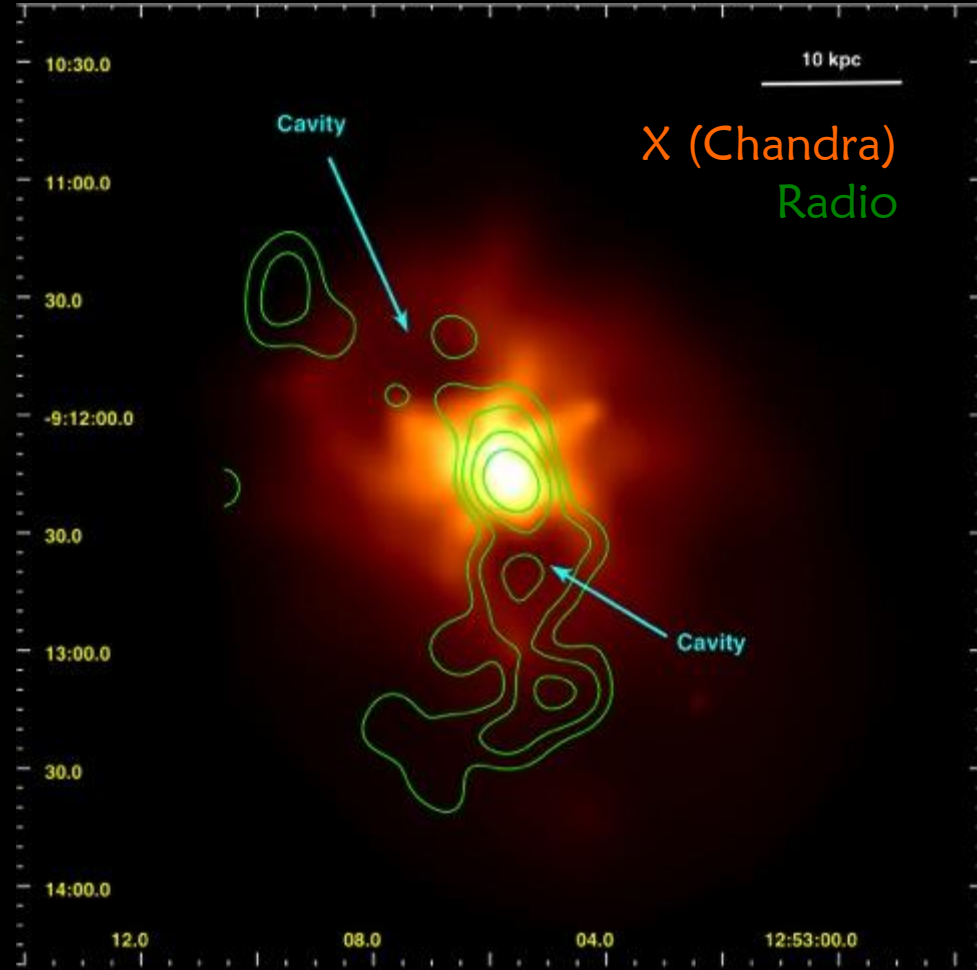
Immagine composita:
galassie (bianco), X (blu), radio (rosso)

Cavita' nel gas caldo (osservato in X)

MS0735.6+7421



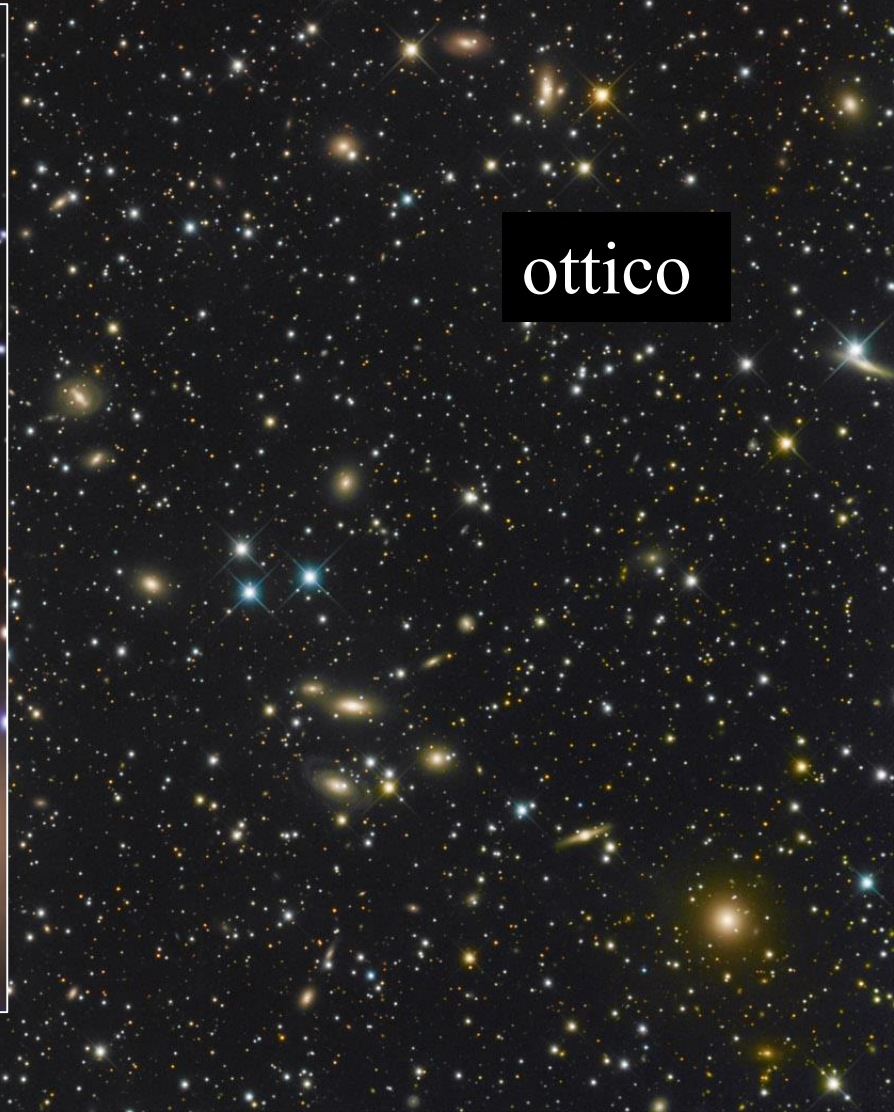
HGC62



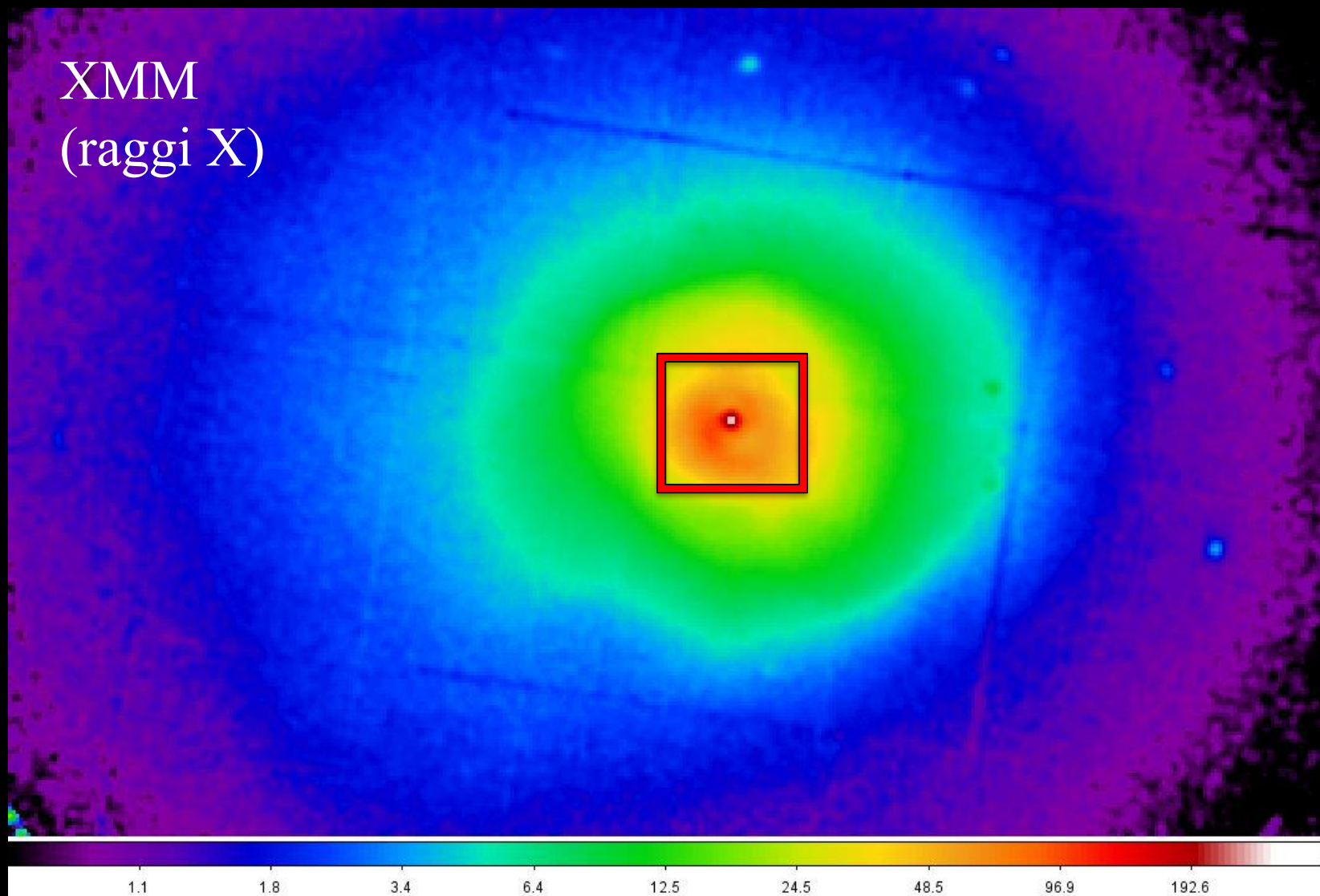
Perseo: l'ammasso piu' brillante in X



ottico

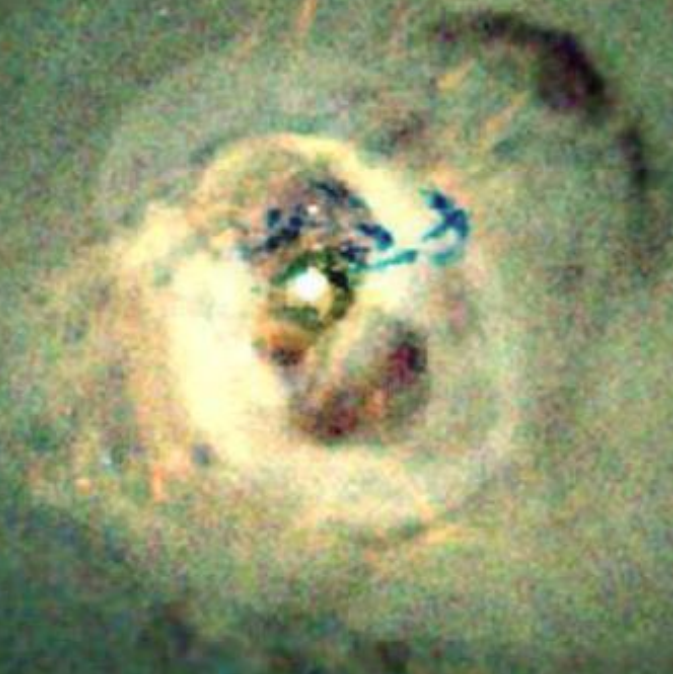


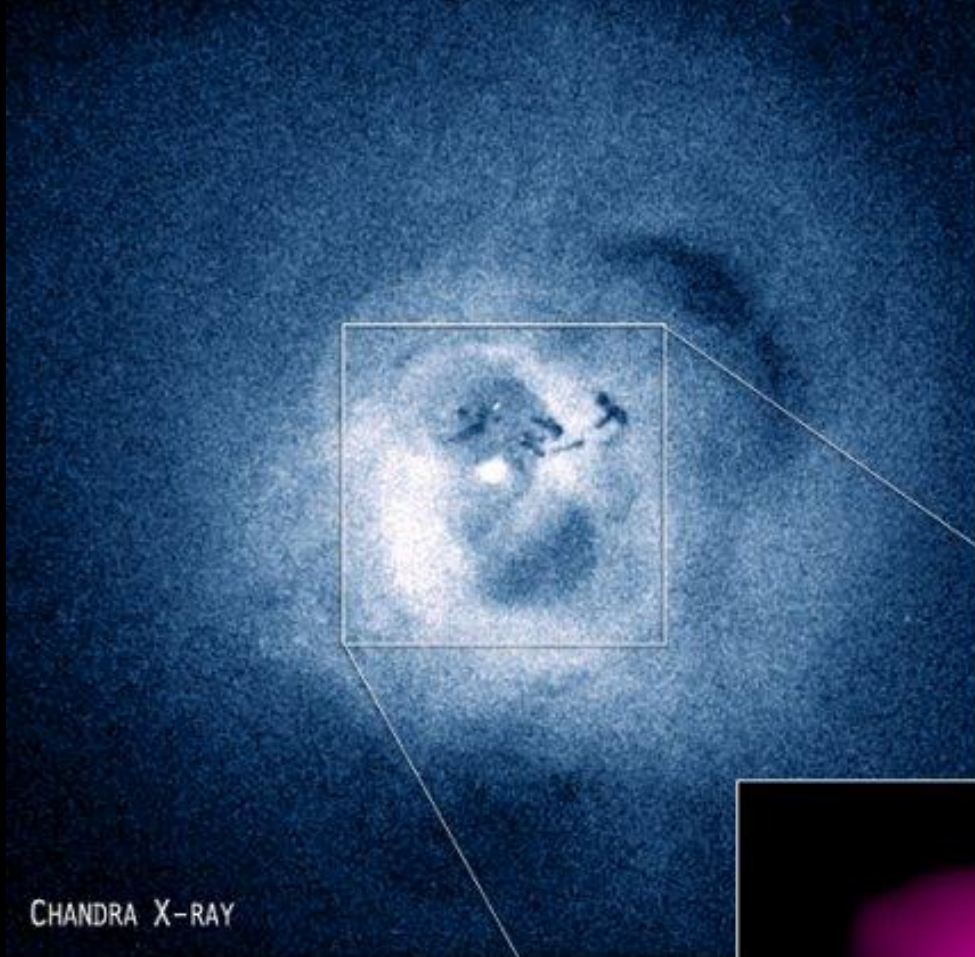
Perseo: l' Ammasso piu` brillante in X



Il centro dell'Ammasso del Perseo in X

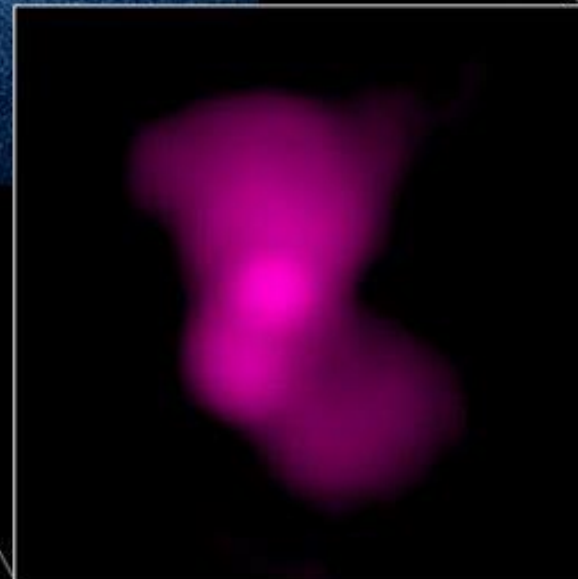
Chandra
(raggi X)





Osservazione X

Osservazione
Radio

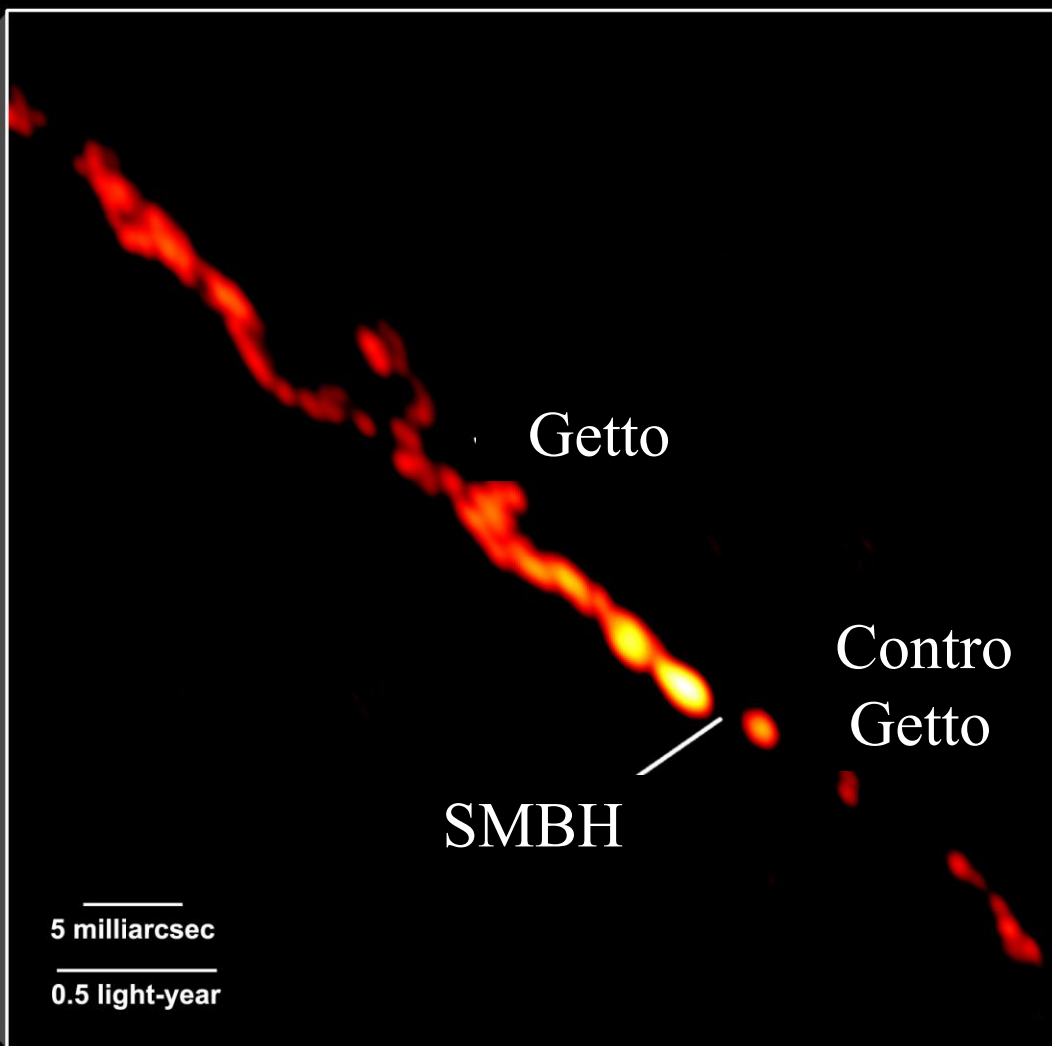
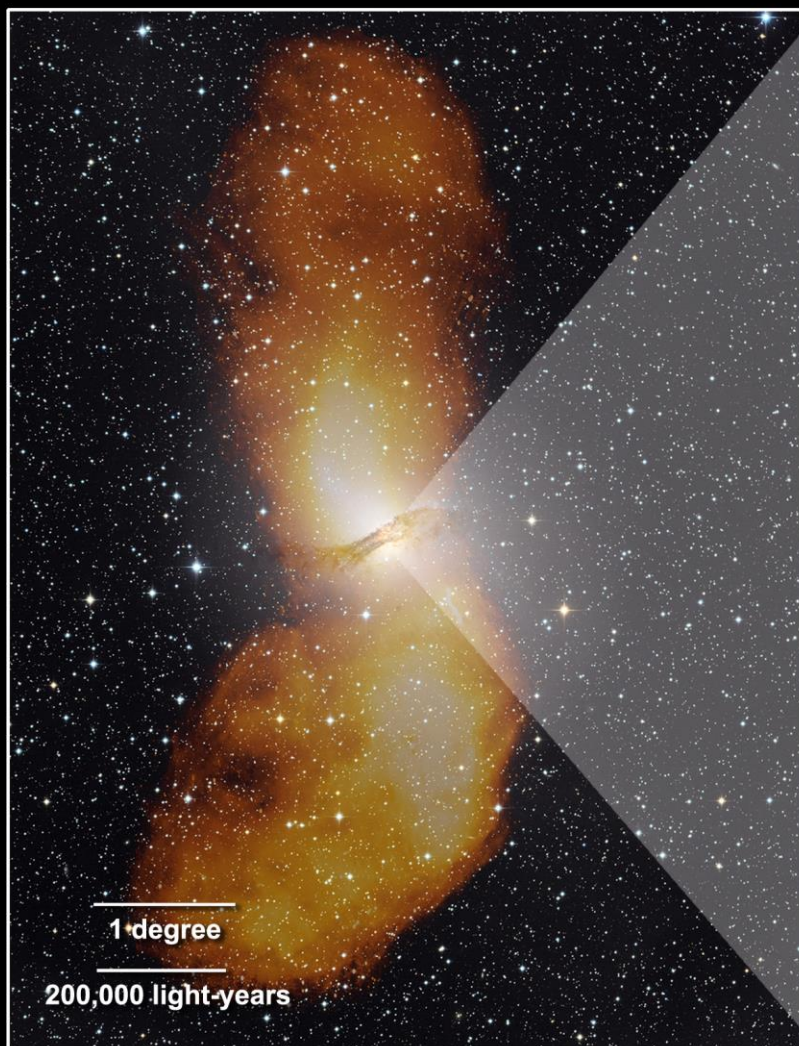


VLA RADIO

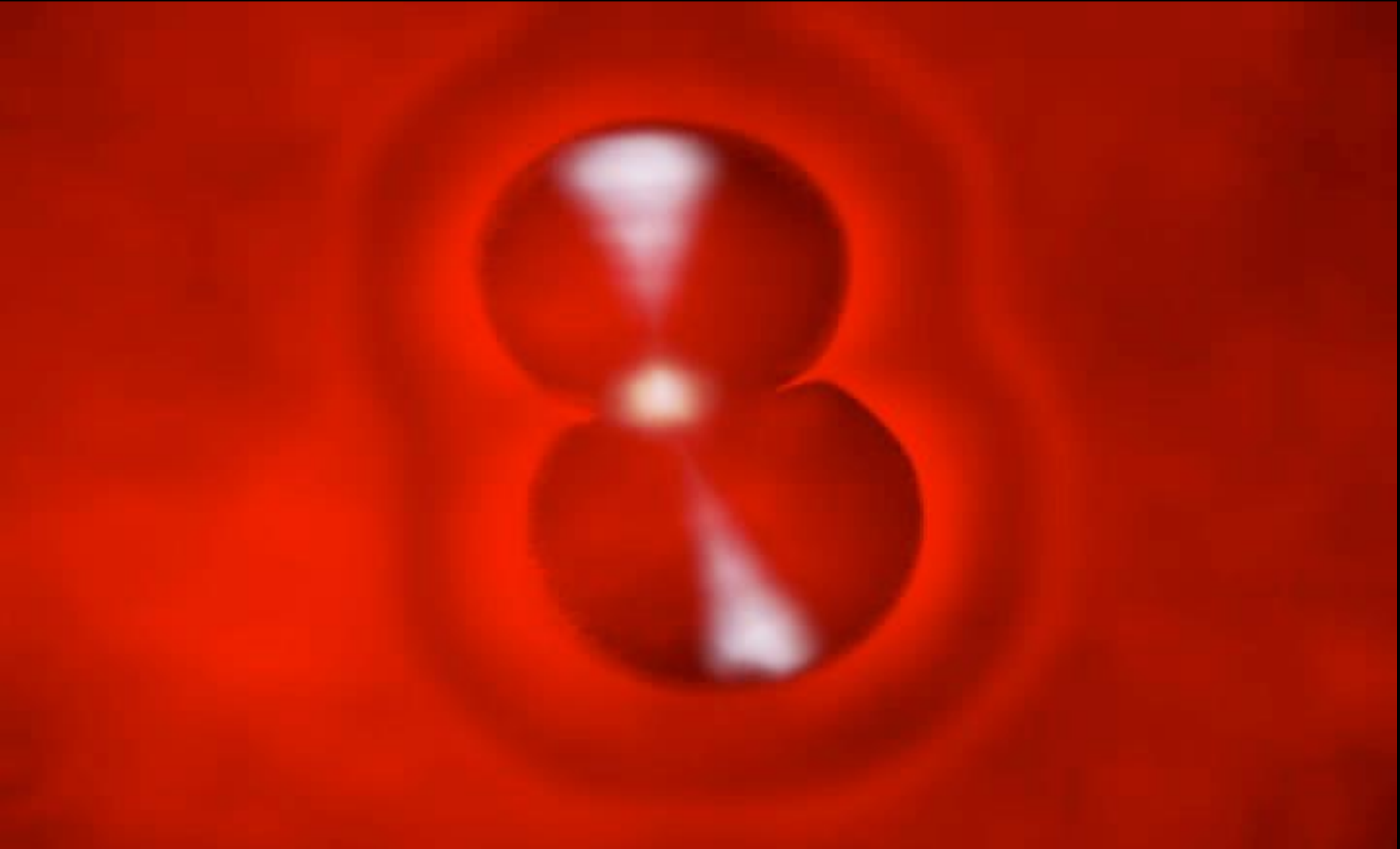
Cavita' X e Getti Radio sono prodotti da un
Nucleo Galattico Attivo (AGN):

la materia che “nutre”
il SMBH induce
potentissimi getti

Attività dell'AGN centrale della galassia Centaurus A

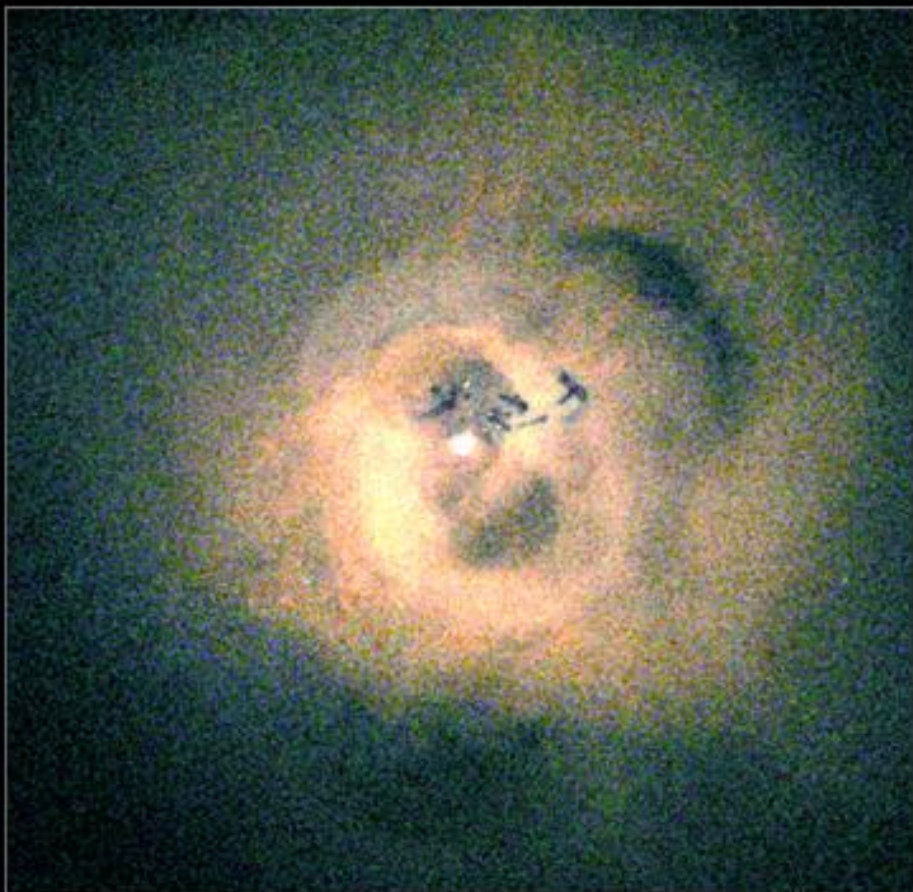


Simulazione dell' interazione tra un SMBH
nella BCG (AGN) e il gas X dell'ammasso

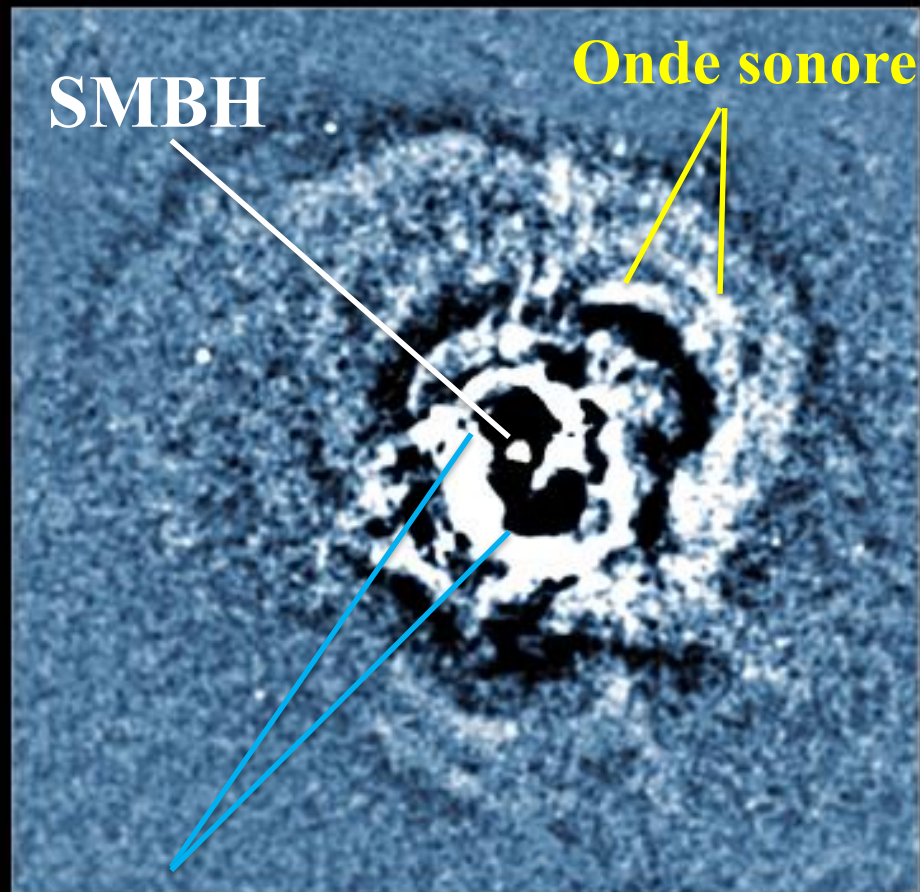


Onde sonore negli ammassi?

L'espansione delle bolle può produrre onde sonore nel gas che trasportano l'energia prodotta dall'AGN a tutto il gas



CHANDRA X-RAY [3-COLOR]



Cavita' X CHANDRA X-RAY [SOUND WAVES]

Lenti Gravitazionali

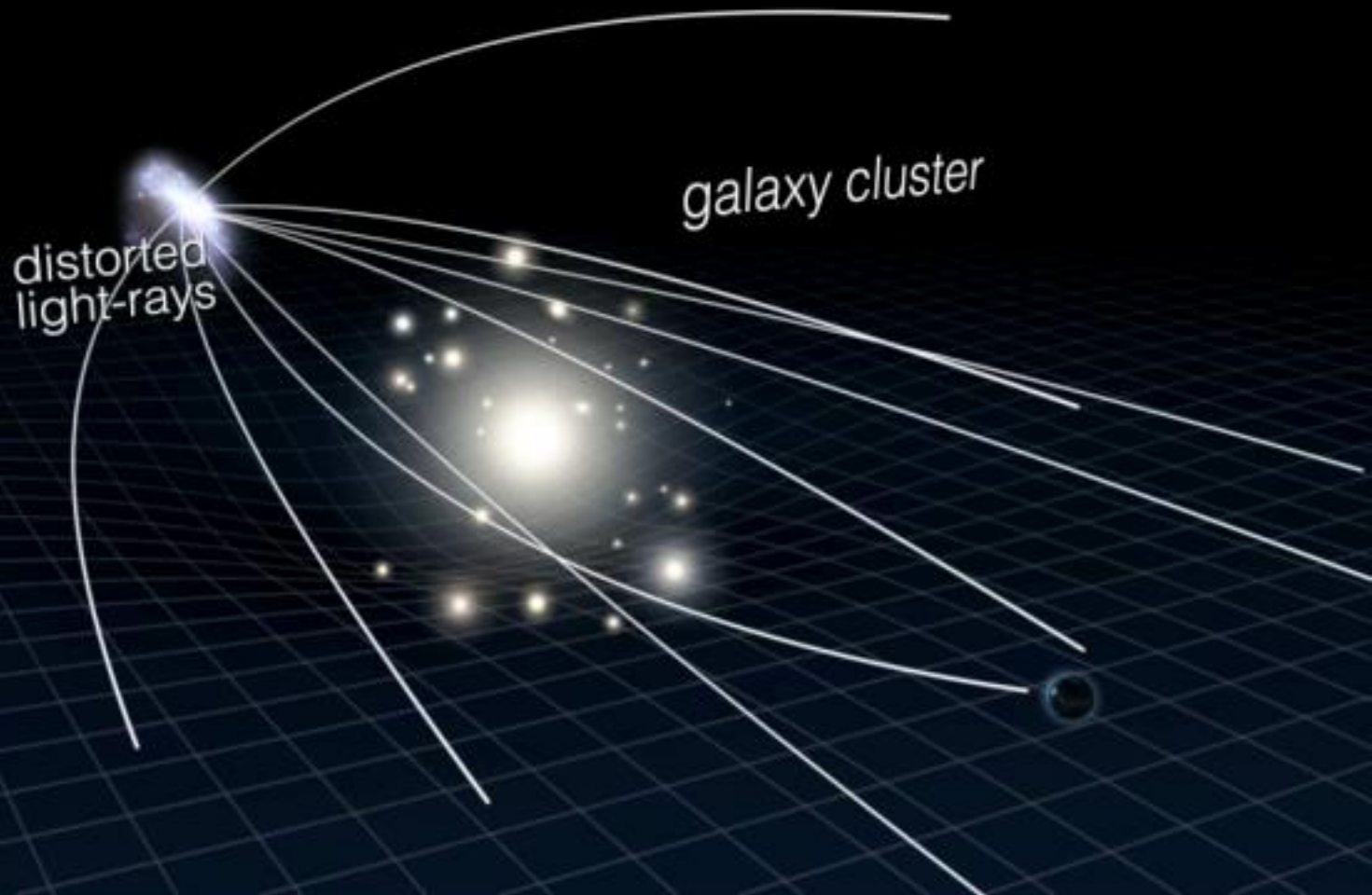


Gravitational Lens in Abell 2218

HST • WFPC2

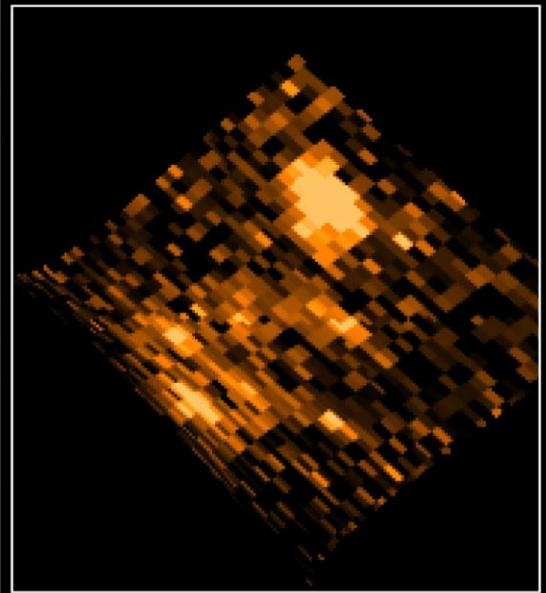
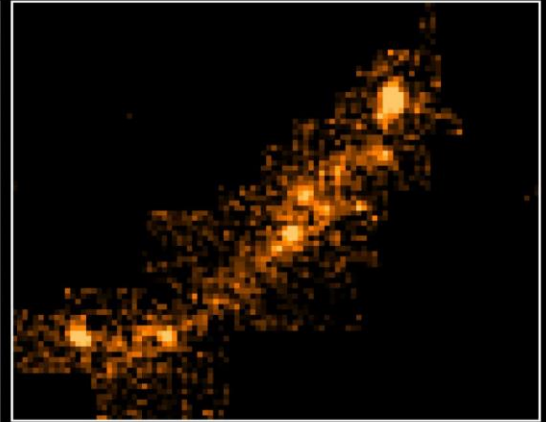
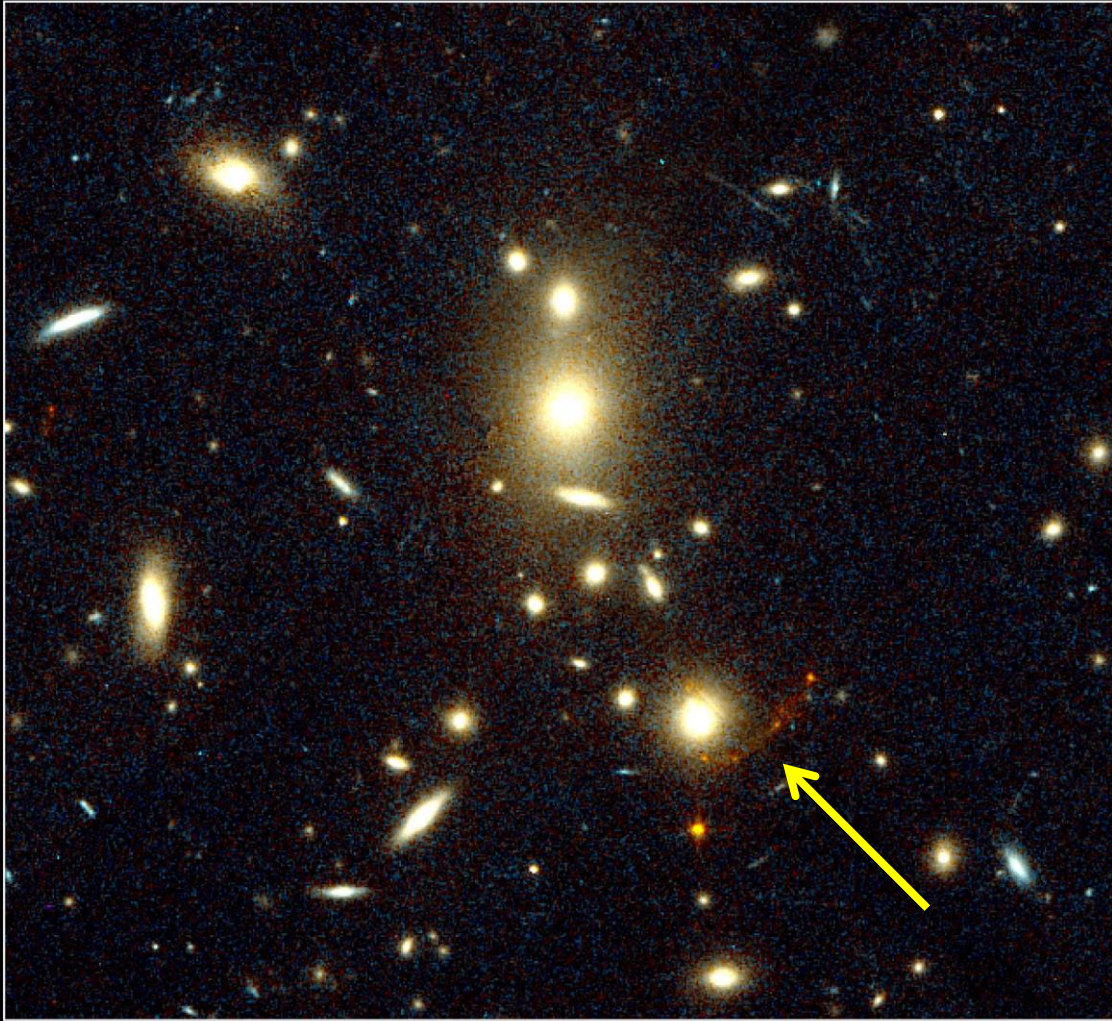
PF95-14 • ST ScI OPO • April 5, 1995 • W. Couch (UNSW), NASA

Lenti Gravitazionali

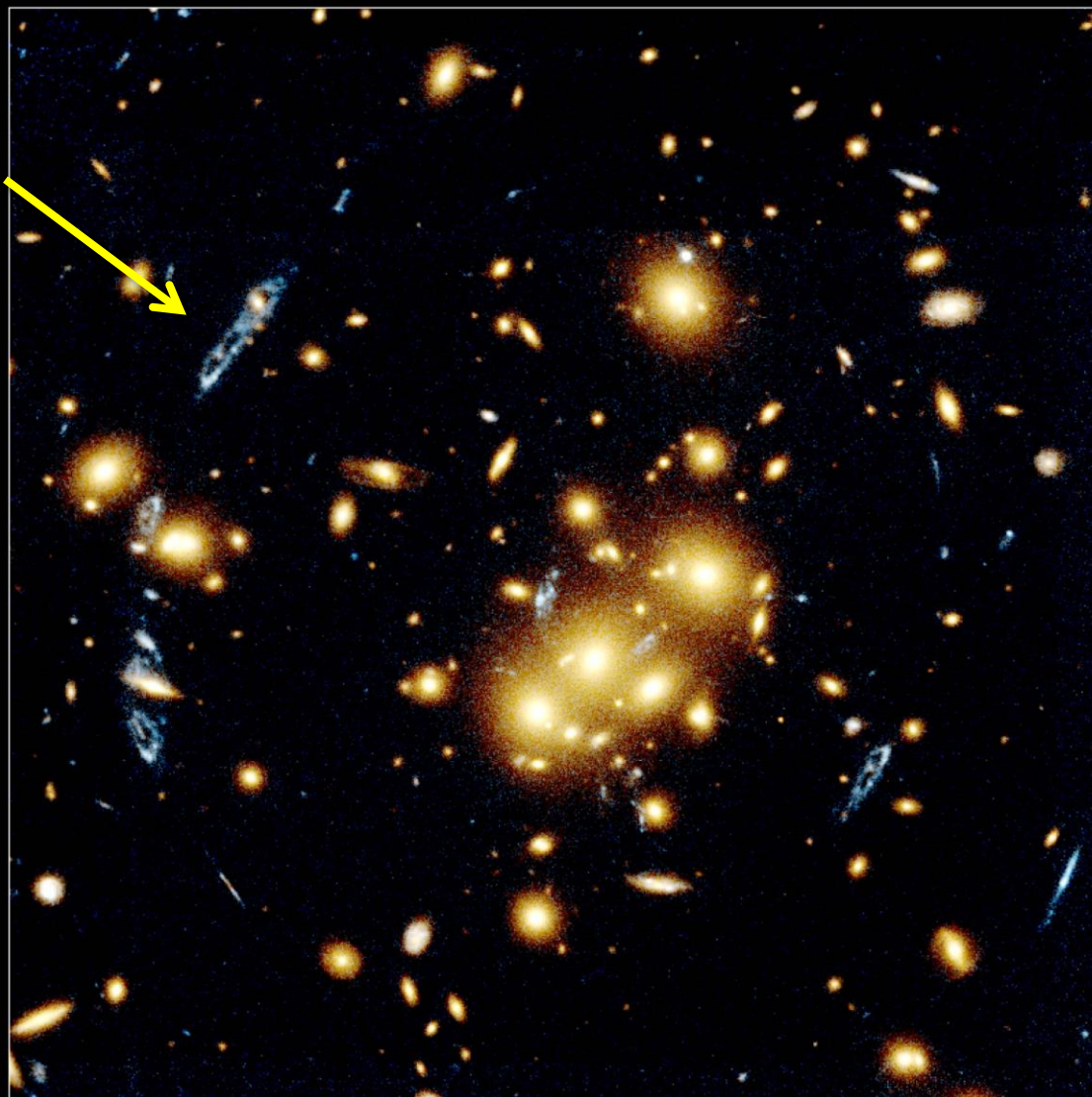








Gravitationally Lensed Image of Highest Redshift Galaxy
Hubble Space Telescope • WFPC2

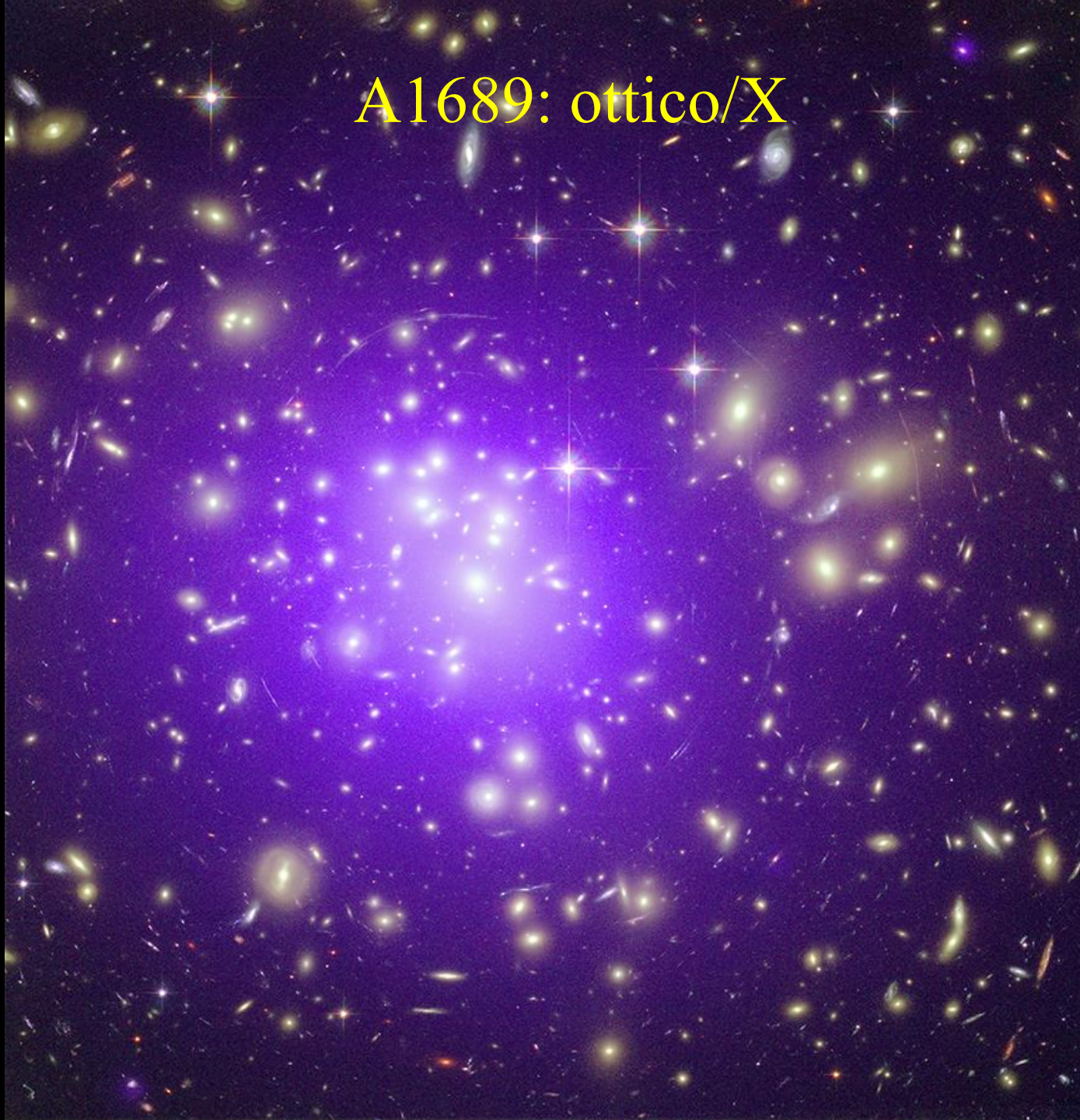


Gravitational Lens
Galaxy Cluster 0024+1654
Hubble Space Telescope • WFPC2



47 immagini multiple e
almeno 12 galassie lontane distorte identificate

A1689: ottico/X

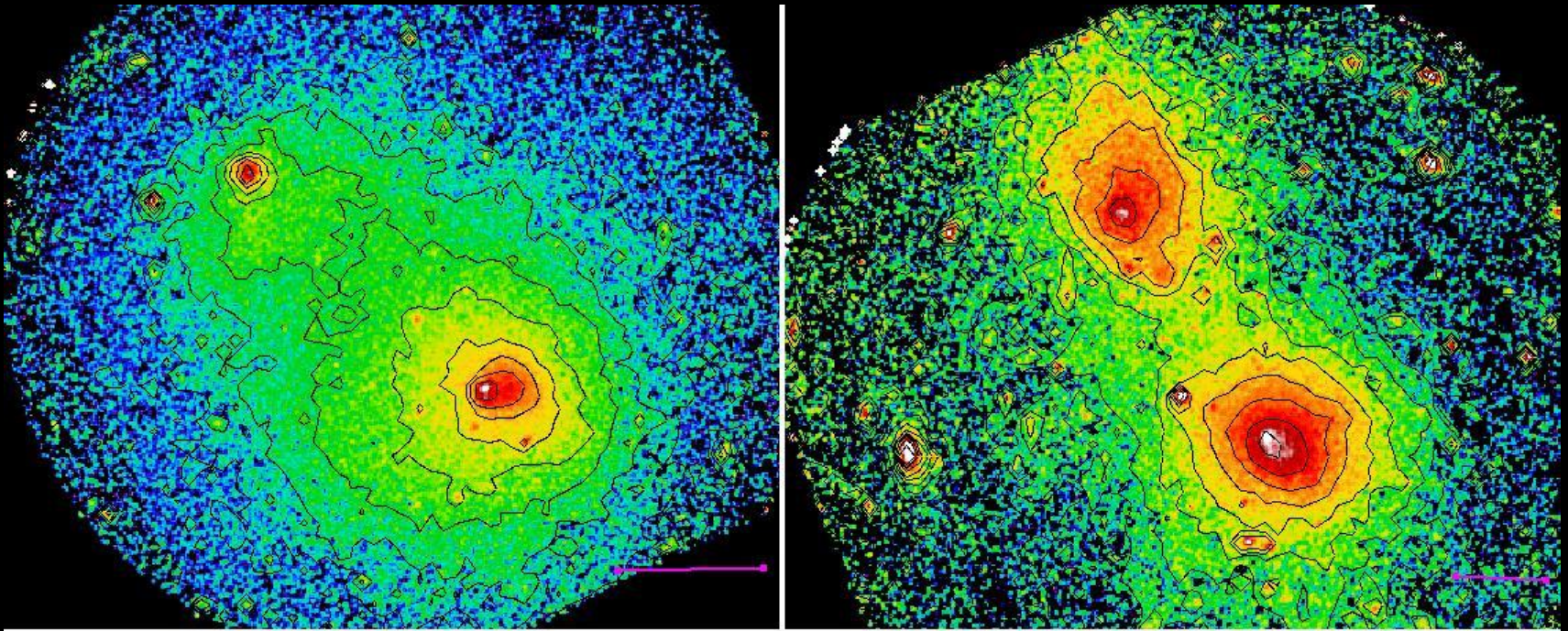


A1689: Ricostruzione di massa con lenti

Le Masse Totali degli Ammassi misurate dall' emissione X, dai moti delle galassie e dalle lenti gravitazionali sono consistenti tra loro (cioe` si trova la stessa quantita` di Materia Oscura).

Ammassi di Galassie “non-Rilassati”

raggi X



cioe` ammassi di galassie in interazione

Ammassi di Galassie “non-Rilassati” o meglio..... “Scontri tra Titani”



Uno scontro molto particolare

1E 0657-156: Ammasso “Pallottola”

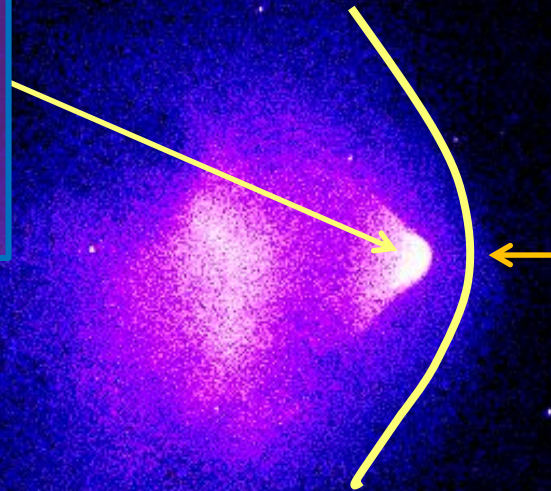


Gas X

Uno scontro molto particolare

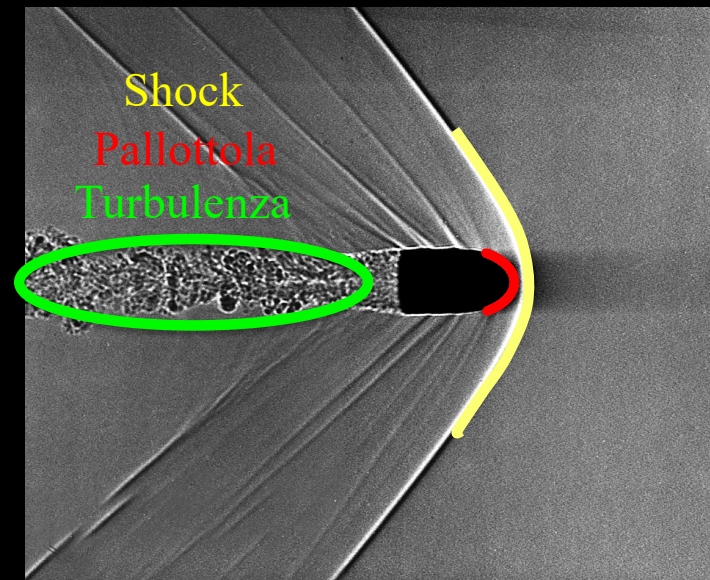
1E 0657-156: Ammasso “Pallottola”

“Pallottola”: è la parte di gas più interna e densa dell’ammasso che ha attraversato a velocità supersonica l’altro ammasso.



SHOCK:
prodotto da un’onda nel gas che si muove a velocità maggiore della velocità del suono.

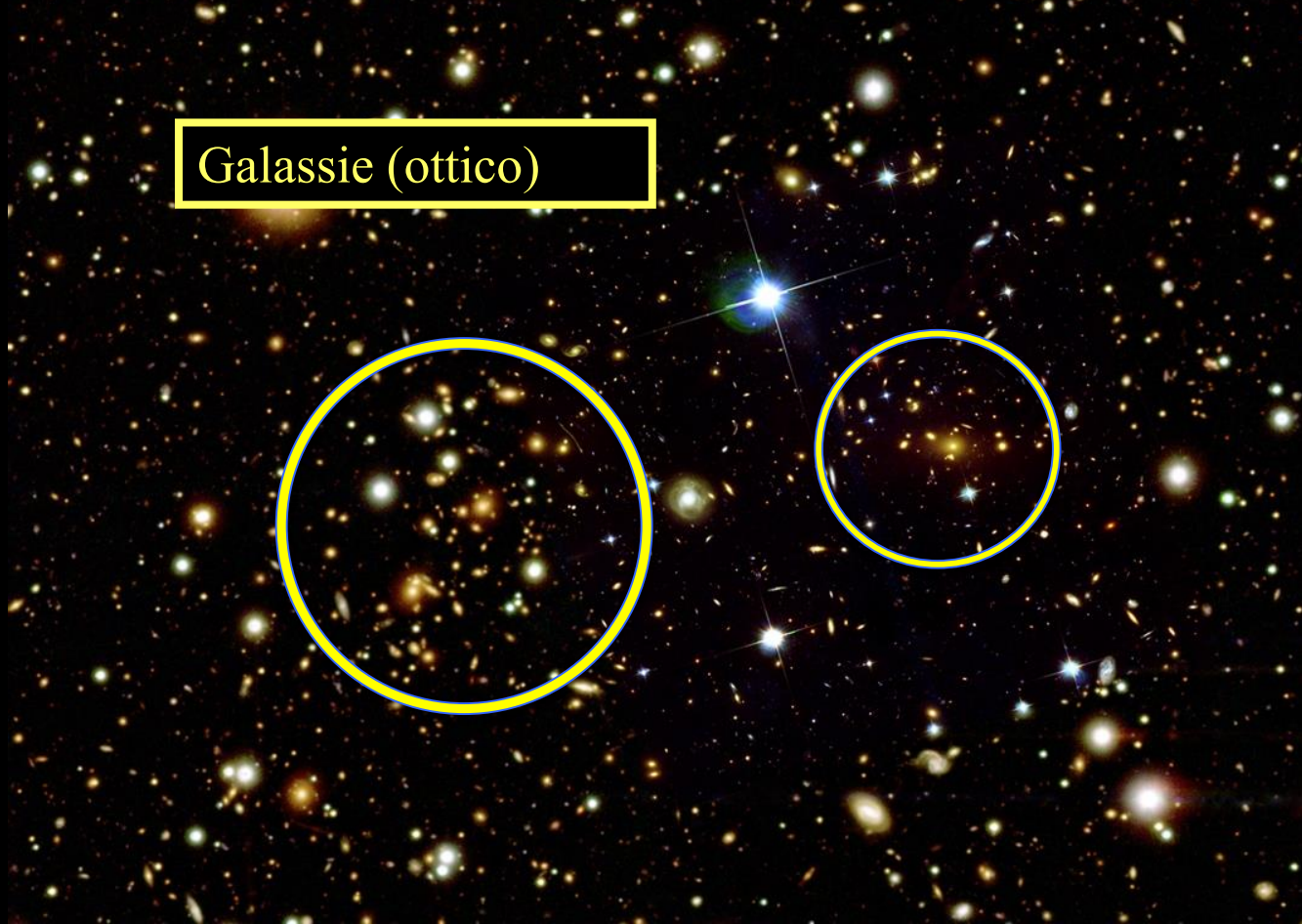
Quanta energia e' coinvolta in questa collisione?
L'energia cinetica prodotta nello scontro e' pari a
quella di circa 10^{50} bombe atomiche



Sono gli eventi che producono piu' energia
nell' Universo dopo il BigBang

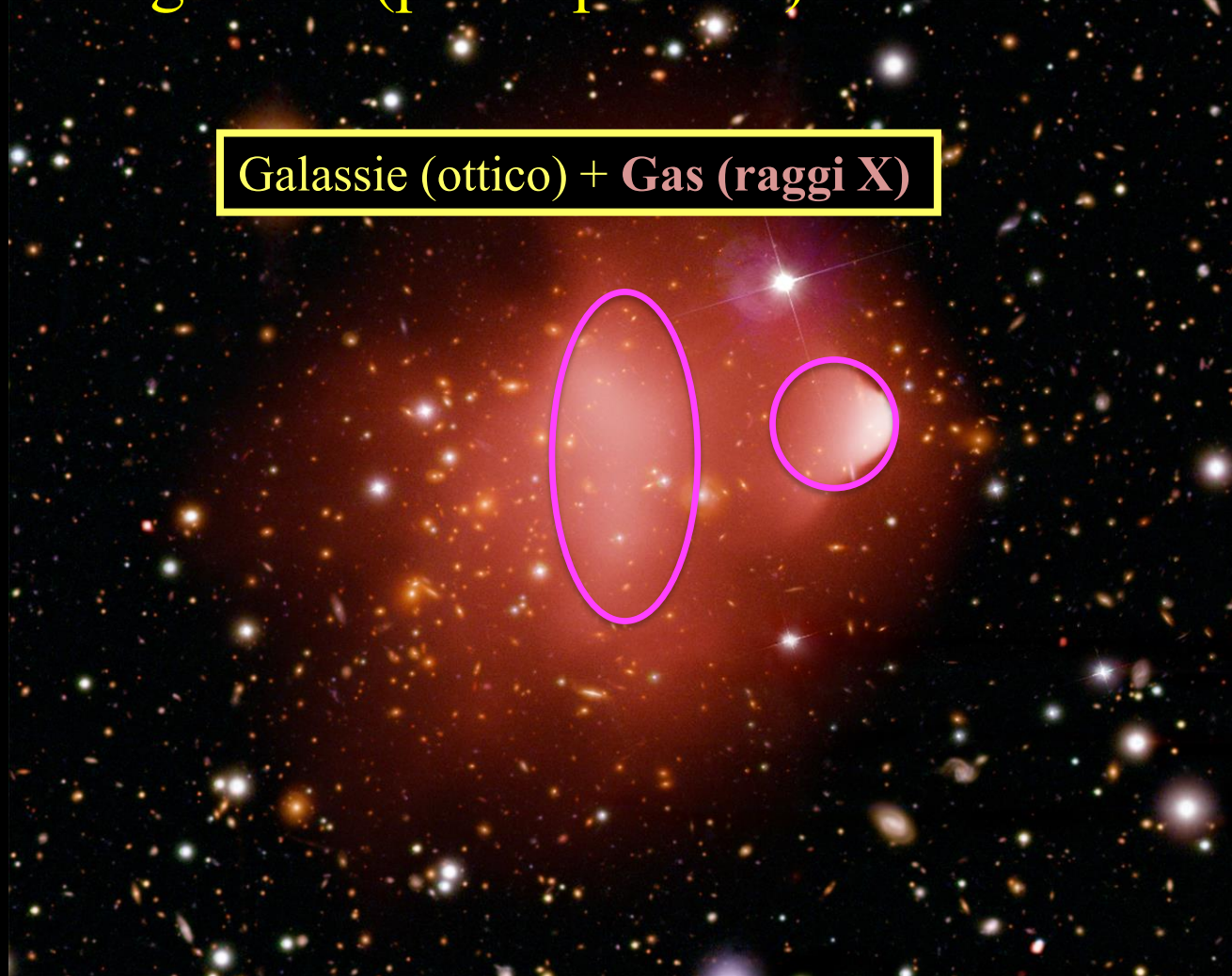
1E 0657-156: l'Ammasso “Pallottola”

La “Smoking Gun” (prova provata) della Materia Oscura



1E 0657-156: l'Ammasso “Pallottola”

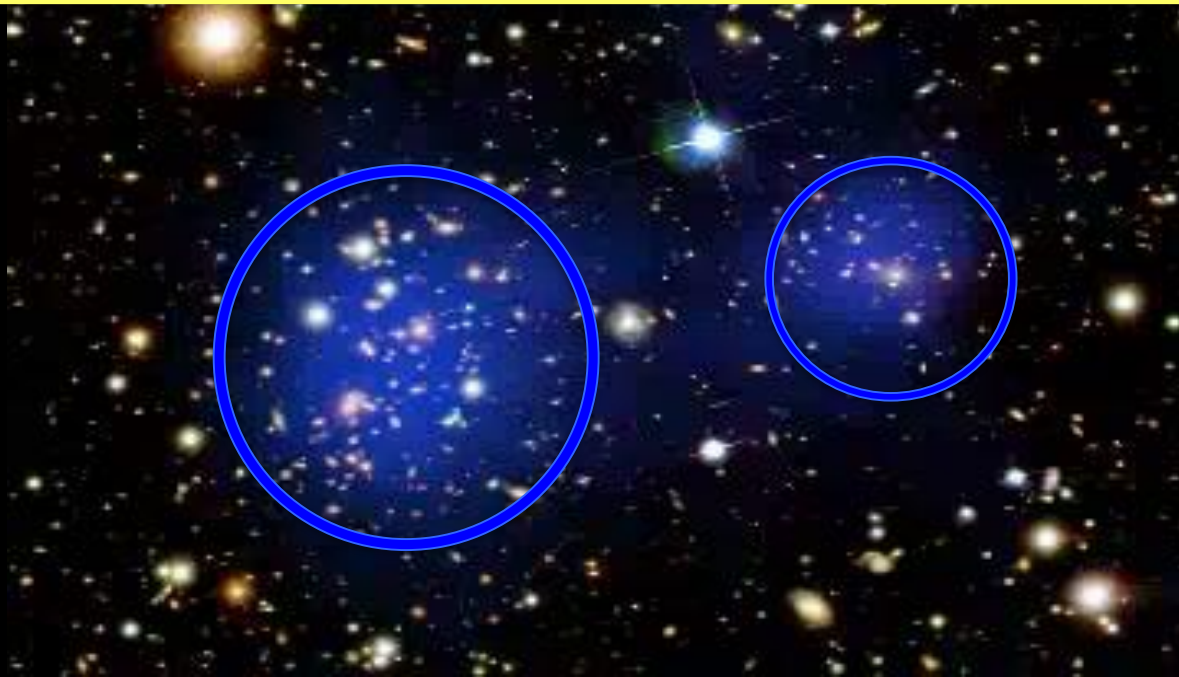
La “Smoking Gun” (prova provata) della Materia Oscura



1E 0657-156: l'Ammasso “Pallottola”

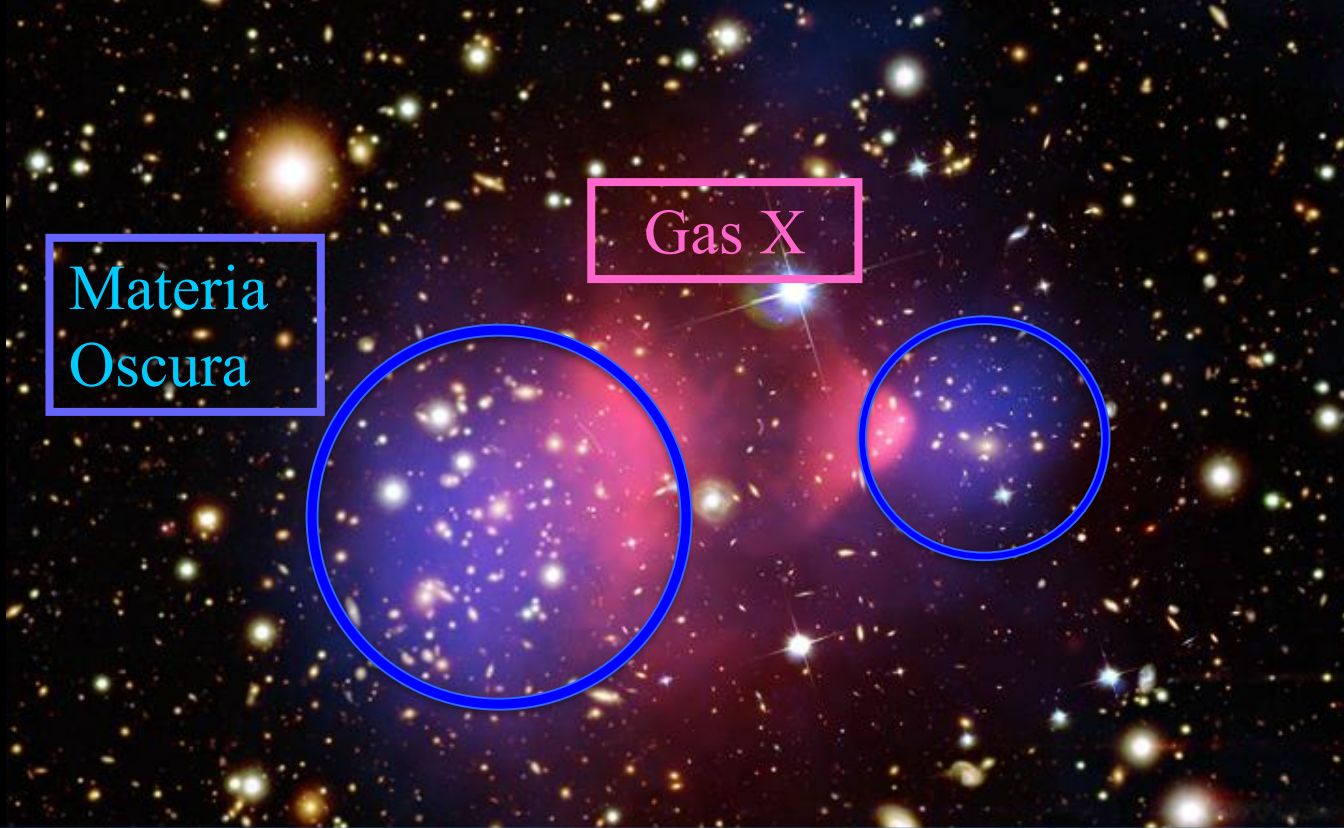
La “Smoking Gun” (prova provata) della Materia Oscura

Galassie (OTTICO) + **Materia Oscura (lenti gravitazionali)**



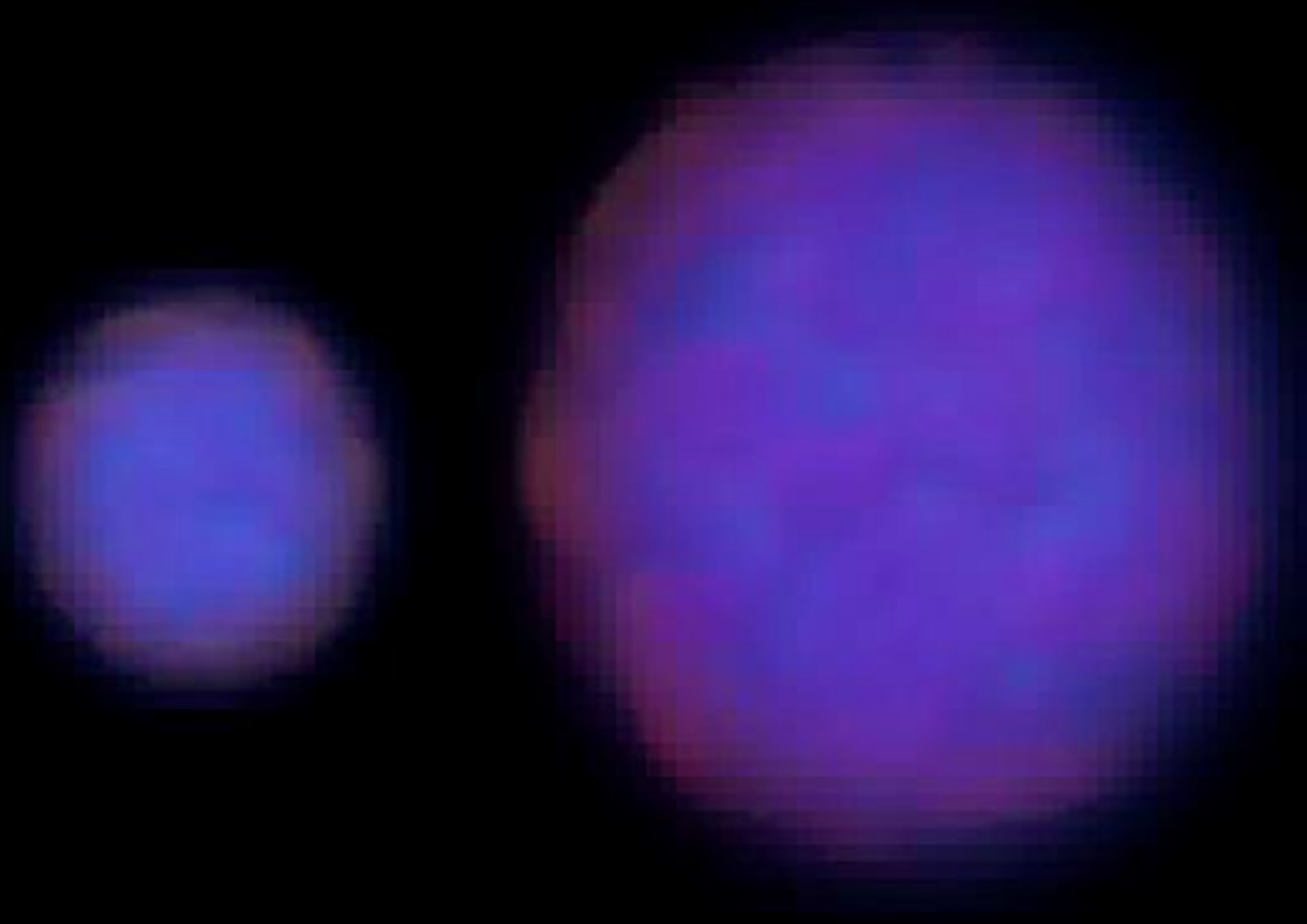
1E 0657-156: l'Ammasso “Pallottola”

La “Smoking Gun” (prova provata) della Materia Oscura



La collisione titanica ha separato la DM dalla materia ordinaria (gas atomico)

1E 0657-156: Ammasso “Pallottola”



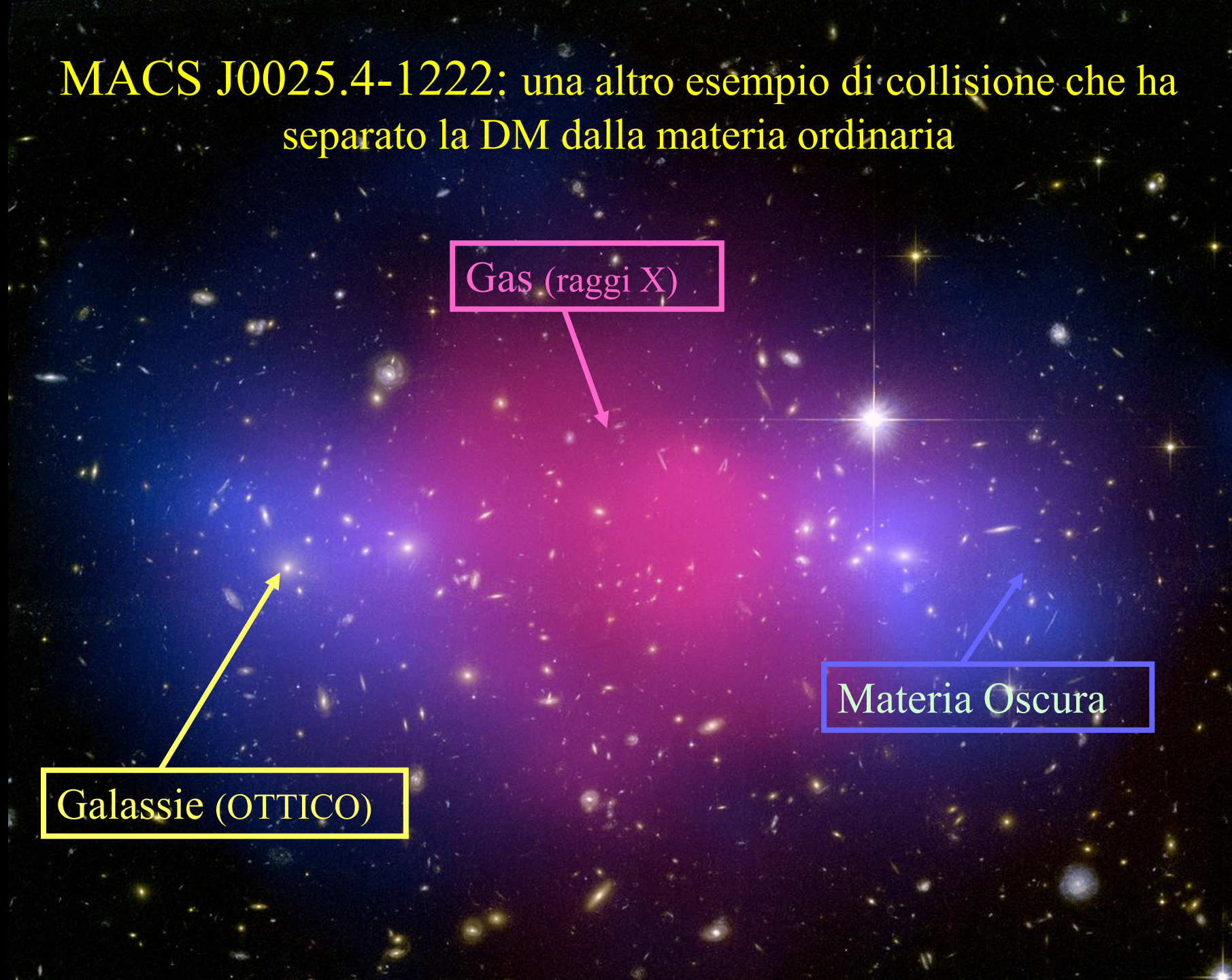
Simulazione

MACS J0025.4-1222: un altro esempio di collisione che ha separato la DM dalla materia ordinaria

Gas (raggi X)

Galassie (OTTICO)

Materia Oscura



A2744: Ammasso Pandora

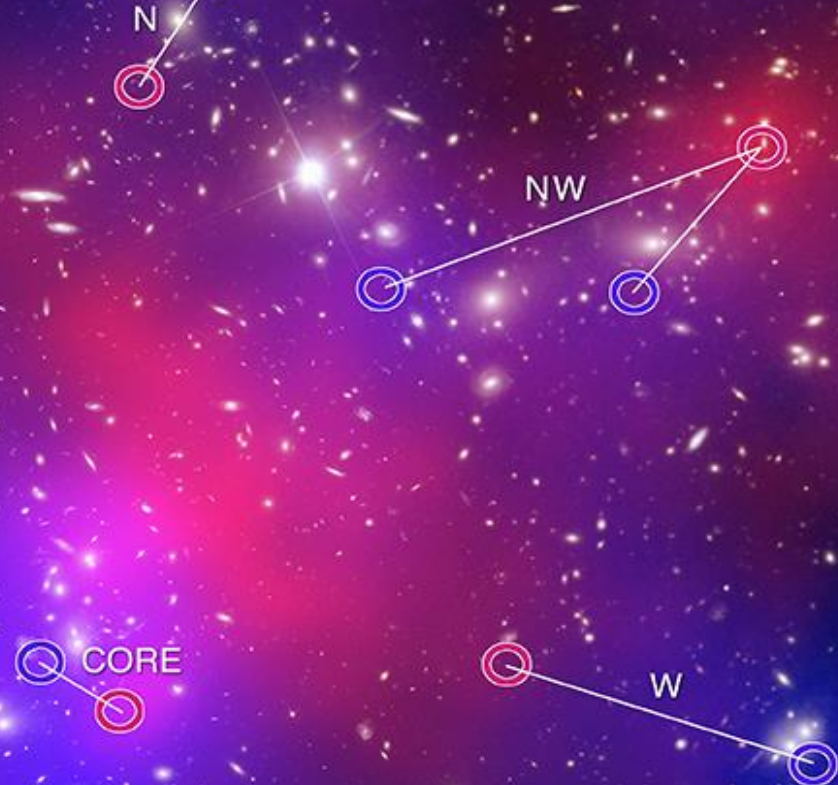


Immagine composita:

Galassie, Gas X (rosso), DM (blu)

Collisione tra almeno 4 ammassi

Osservazioni nella banda Radio degli Ammassi



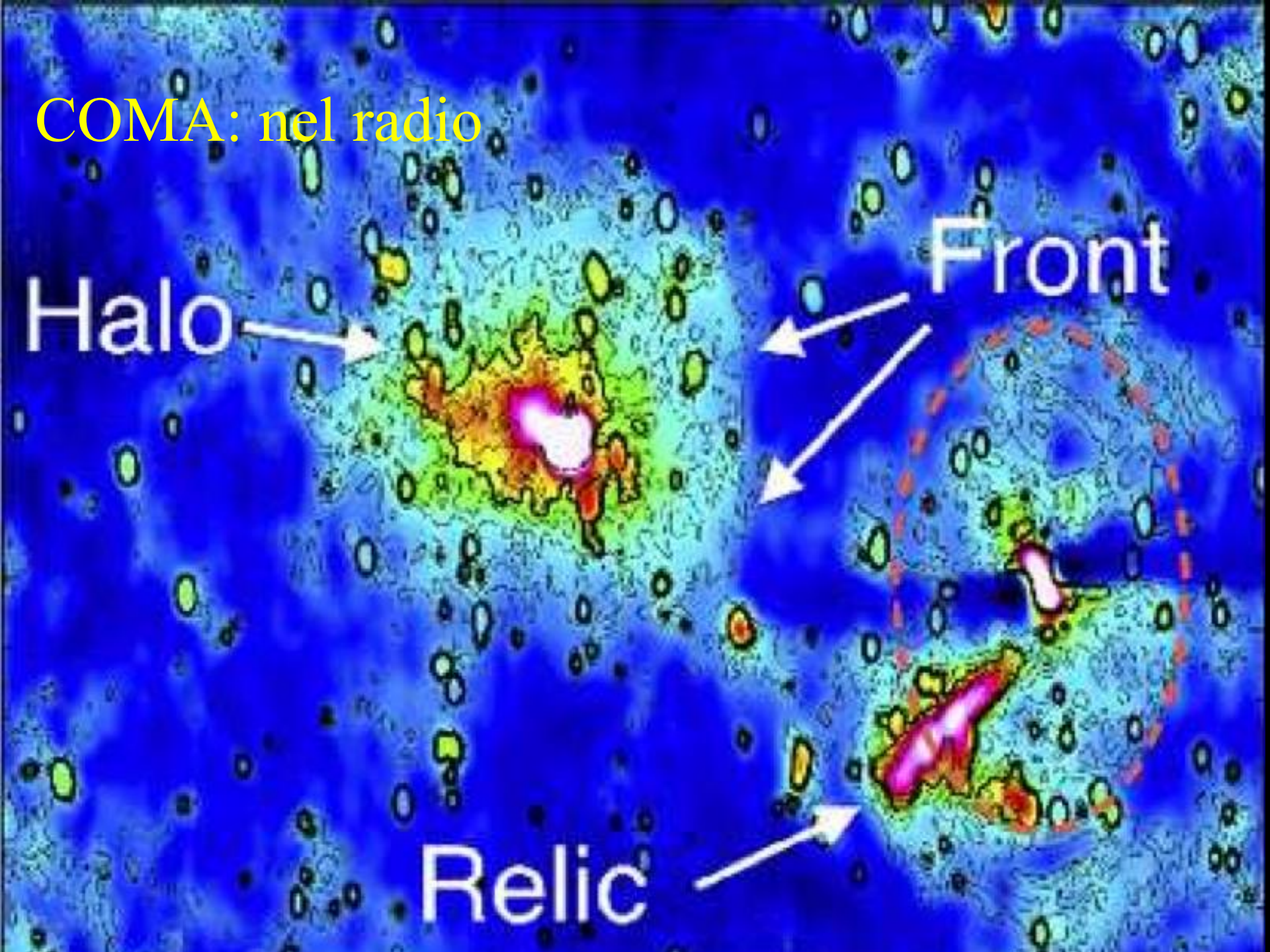
ALMA: 66 Radiotelescopi di 12 e 7 m (Cile)



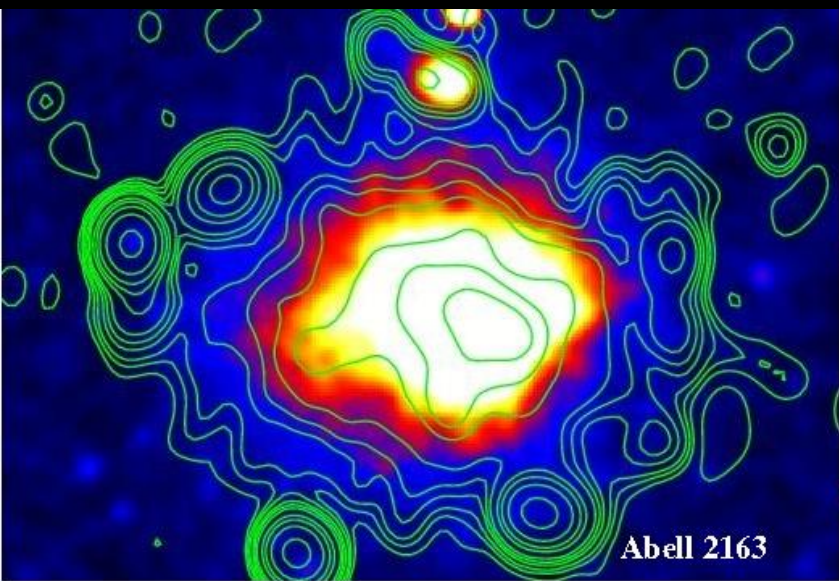
COMA: nel visibile



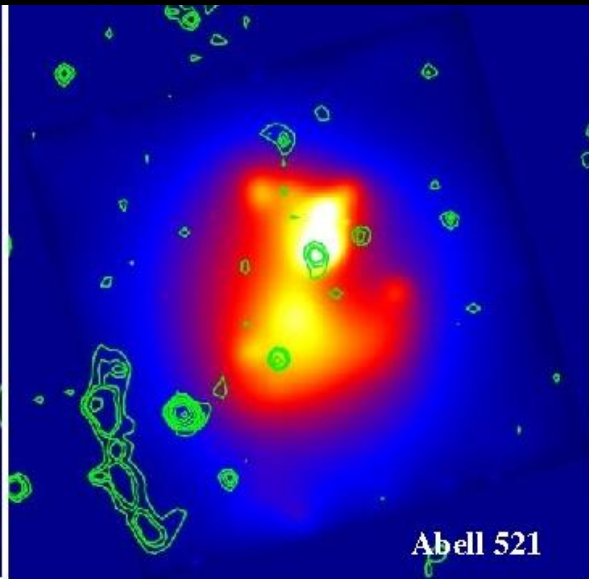
COMA: nel radio



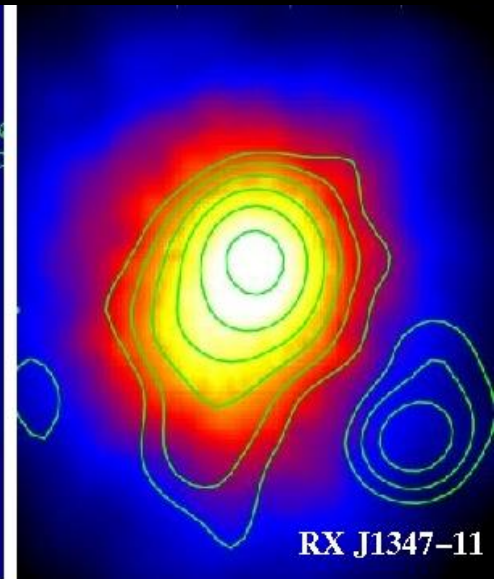
Tipologie di emissione Radio negli Ammassi



ALONE



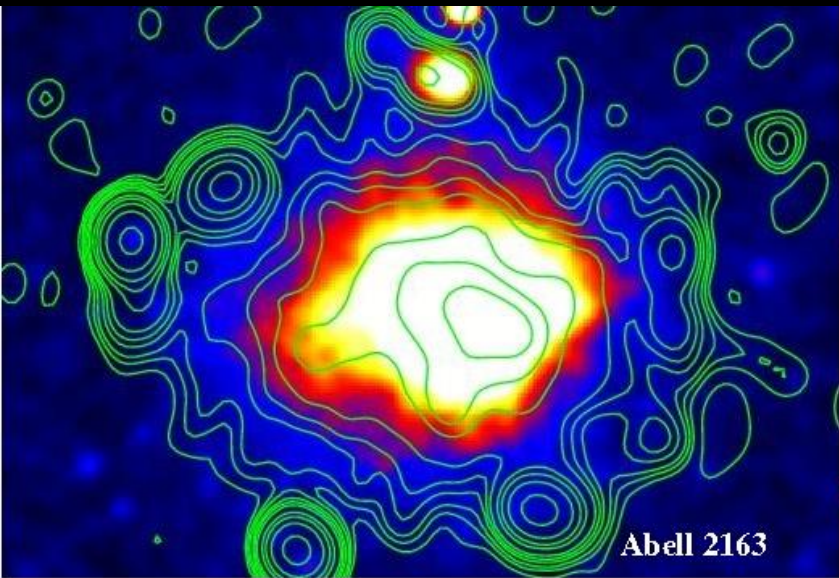
RELITTO



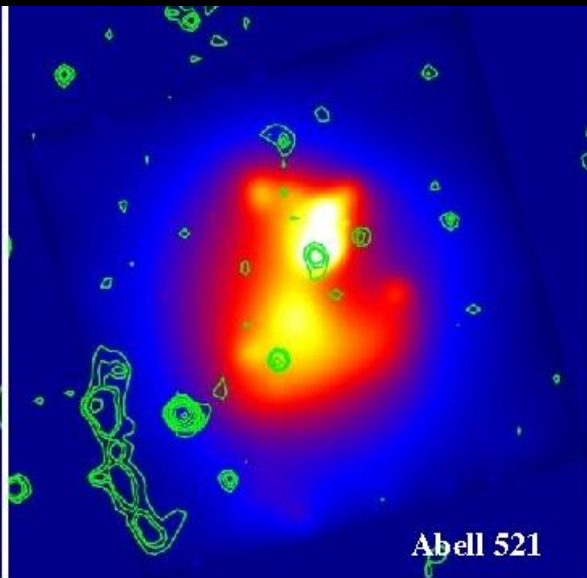
MINI-ALONE

➔ Sono sempre associati ad ammassi che mostrano segni di interazione/collisioni recenti

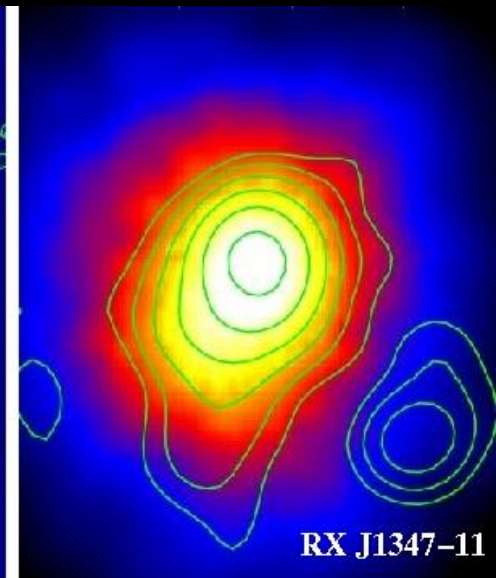
Tipologie di emissione Radio negli Ammassi



ALONE



RELITTO



MINI-ALONE

L' emissione radio e' prodotta dall'interazione tra

➔ Campi Magnetici + elettroni relativistici
(riaccelerati da turbolenza o shock)

➔ E' quindi un tracciante dello stato dinamico (fusione, collisione, accrescimento, ...) RECENTE di un ammasso

COSA RICORDARE DEGLI AMMASSI DI GALASSIE?

- **Sono gli oggetti legati gravitazionalmente piu' grandi dell'Universo**
- **La loro formazione e' connessa alla formazione dell'Universo: si trovano nei "nodi" della rete cosmica.**
- **Contengono le galassie Ellittiche piu' grandi, che a loro volta contengono i buchi neri galattici piu' grandi (AGN)**
- **Sono dominati dalla Materia Oscura**
- **La loro fisica interna e' complessa e ricca di informazioni**